FIBRAS OPTICAS Y LASERES



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

FIBRAS OPTICAS Y LASERES



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-770-7 (Vol. 43)
D. L.: B. 33884-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Fibras ópticas y láseres

EL LASER

La palabra LASER deriva de las iniciales de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significan amplificador de luz por la emisión estimulada de radiación.

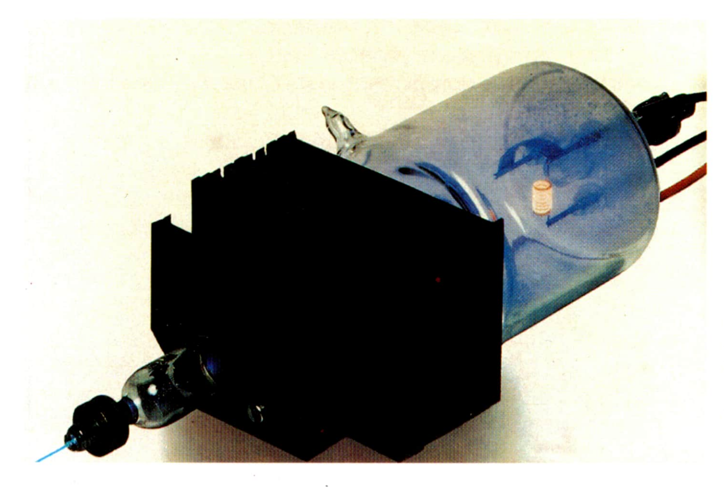


Figura 1. Tubo de gas argón ionizado. En el interior se incluyen los espejos que desvían y ajustan la trayectoria del rayo. (Cortesía: Siemens).

Einstein introdujo en 1917 el concepto de radiación, estableciendo la hipótesis de que junto a la absorción y generación espontáneas (no provocadas) en ciertos medios podría existir también una radiación forzada. Predijo que ésta tendría lugar cuando se comunicara a las partículas una energía complementaria y el medio perdiera el equilibrio térmico.

A finales de los años 50, un grupo de científicos soviéticos encabezados por Basov determinó la posibilidad de utilizar los sistemas cuánticos en la generación y amplificación de las radiaciones infrarrojas y ópticas. Pero no fue hasta 1960 cuando se creó el primer generador cuántico de gama óptica (T. Maiman). Funcionaba utilizando como fuente de

radiación un cristal de rubí artificial en régimen de impulsos. En 1961 apareció el primer láser de gas con radiación continua y en el 62 se creaban los láser de semiconductor.

La luz

La luz que vemos no es más que oscilaciones electromagnéticas, y todas las fuentes habituales que la producen son cuerpos calientes.

Pero la luz blanca que puede verse no es pura. Está formada por oscilaciones electromagnéticas de longitudes de onda diferentes (es una mezcla de los diferentes colores). Al conjunto de las diversas longitudes de onda que forman la luz blanca se le denomina espectro de radiación, y es posible ver por separado las componentes de la luz blanca en el arco iris.

Una onda electromagnética está asociada a la aparición y a la desaparición de un campo magnético. La duración de una oscilación completa se denomina período y a la cantidad de períodos por segundo se le denomina frecuencia.

Oponiéndose a la idea de la continuidad de la materia, Planck admitió que la energía no podía emitirse o absorberse de forma continua, sino que se hacía en forma de cantidades discretas que llamó cuantos, y dio la relación existente entre la energía del cuanto y la frecuencia de su radiación. Esta relación es constante y se denomina constante de Planck. La energía de un cuanto con una frecuencia de radiación ν viene dada por la fórmula:

$$E = h \cdot \nu \qquad (1)$$

donde h es la constante de Planck y E la energía.

Einstein, adoptando la idea de Planck sobre los cuantos, supuso que la luz era un flujo de cuantos tales que a una frecuencia dada, todos tenían la misma energía. A estos cuantos los llamó fotones.

La idea más simple que se puede formular sobre un átomo es aquella que lo compara con el sistema planetario. El Sol sería en el átomo el núcleo, formado por neutrones y protones, mientras que los planetas serían los electrones que giran alrededor del núcleo. La diferencia fundamental con el sistema planetario es que mientras en éste los planetas tienen órbitas fijas, en el átomo los electrones pueden cambiar sus órbitas por influjo de fuerzas externas. Pero esto no sucede

de forma continua, sino que sólo lo pueden hacer a saltos. Ello se debe a que el átomo sólo puede absorber energía de forma cuantificada.

Por tanto, en el átomo existen niveles energéticos discretos. Pero la forma más estable del átomo es aquella en la que la energía potencial es mínima, y ésta es tanto menor cuanto más cerca esté el electrón del núcleo. Sólo cuando las órbitas cercanas al núcleo estén ocupadas, el electrón pasará a ocupar las externas.

Para llevar un electrón de una órbita interna a otra externa se necesitará darle una cantidad de energía, cantidad que será tanto mayor cuanto más alejada del núcleo esté la órbita. Cuando se deje solo el átomo, el electrón tenderá a volver a su órbita inicial, para lo cual deberá devolver la energía que absorbió.

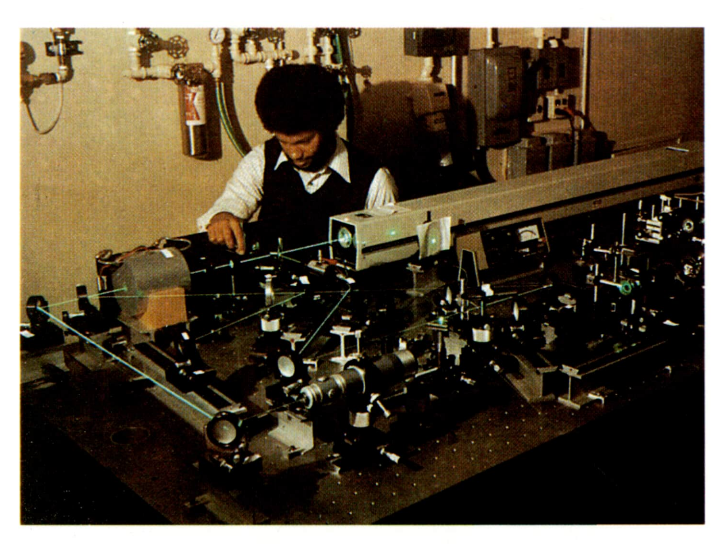


Figura 2. La comprobación de que el láser se comporta como un rayo luminoso se aprecia en la fotografía. Una sucesión de espejos permite trabajar con la refracción y reflexión de la radiación obtenida a la salida del equipo.

Se ha dicho que la energía se transmite en forma de onda electromagnética, por lo tanto el átomo emitirá una onda electromagnética. La longitud de onda de la radiación depende de la diferencia entre la energía del nivel inicial y la del nivel final, de manera que a menor diferencia, mayor longitud de onda (radiación infrarroja); a mayor diferencia, menor longitud de onda (radiación ultravioleta).

Como quiera que los posibles niveles energéticos en un átomo son muy variados, los átomos de cualquier fuente luminosa, al pasar sus electrones desde niveles superiores a niveles inferiores, desprenderán luz de muy diferentes longitudes de onda que al mezclarse producirán la luz blanca.

Aun así, se pueden ver tubos luminosos de colores. Esto es debido a que al producirse la descarga eléctrica en el seno del gas, los movimientos fundamentales de los electrones a diferentes niveles producen ondas de una determinada longitud que corresponde al color.

Pero la excitación de los átomos no se produce al mismo tiempo, permaneciendo en ese estado sólo durante un tiempo llamado tiempo de vida. Esta es la razón fundamental por la cual la emisión de luz se hace de una forma desordenada. Por tanto, la luz producida será no coherente (mezclas desordenadas de diferentes longitudes de ondas).

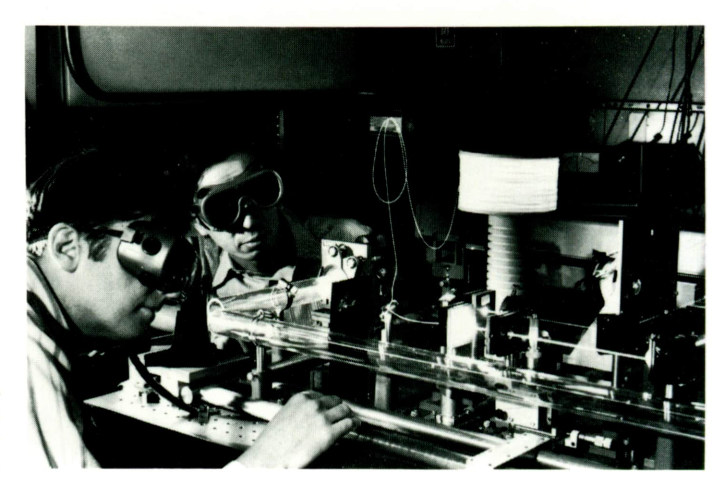


Figura 3. Realización de medidas sobre la propagación del láser en las fibras ópticas.

Funcionamiento del láser

Imagínese ahora una sustancia cuyos átomos sólo posean dos niveles energéticos, el superior y el inferior. Si se le comunica de alguna manera energía al átomo, de forma que pasen al nivel superior un exceso de electrones, se tendrá un sistema activo.

Ahora se proyecta sobre esta sustancia una luz, de una frecuencia tal que sea la que producirían los átomos de la sustancia excitada de pasar del nivel energético superior al inferior. Al hacerlo emitirá la luz de una frecuencia y fase que se corresponderá exactamente con la de la luz aplicada. Esto provoca una amplificación mutua de las oscilaciones.

La radiación se denomina en este caso estimulada, ya que se ve favorecida por la luz externa aplicada.

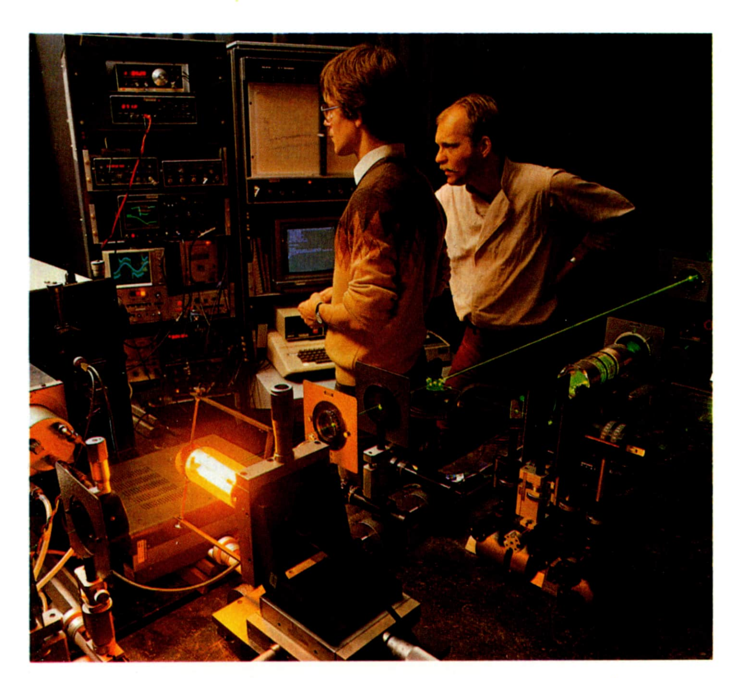


Figura 4. Montaje para la ejecución de medidas sobre una pequeña lámpara de sodio.

Lo que se ha visto para excitación con luz externa puede ser conseguido mediante una potente fuente de excitación que produzca en el nivel superior una población importante de electrones. Esta población no se producirá instantáneamente, por lo que al transcurrir el tiempo de vida de los electrones que pasaron primero al nivel energético superior, éstos descenderán al nivel más bajo emitiendo luz, que a su vez forzará la bajada del resto de partículas. La frecuencia de la luz emitida será igual para todas las partículas. Por lo tanto, emitirá luz coherente.

Para emitir luz coherente, un sistema de átomos tiene que ser de tal manera que en ellos se pueda crear una superpoblación de los mismos en el nivel energético superior; se debe disponer de una fuente de energía capaz de excitar a los átomos y de sostenerlos en el nivel energético superior y, además, disponer de algún mecanismo para obligar a volver sincronizadamente todos los electrones al nivel energético inferior a la vez.

Ya se conoce una forma de devolver los electrones a su nivel energético inferior: una fuente de luz cuya frecuencia sea la de la radiación que emitirá el átomo al volver a su estado inactivo. Pero si se dirige cualquier luz sobre el sistema sólo se conseguirá amplificar la misma, no se obtendrá luz coherente.

NACIMIENTO Y DESARROLLO DEL LASER

Después de la aparición del máser, un gran número de grupos en todo el mundo iniciaron una desenfrenada carrera intentando ser los primeros en aumentar la frecuencia de emisión del dispositivo recién nacido, y llevarla desde las microondas hasta las ópticas. Dos temas eran los básicos: encontrar la configuración más idónea y buscar el material más adecuado. Otros requisitos estaban también en la mente de algunos: que el dispositivo fuera lo más compacto y manejable posible y que pudiera trabajar a temperatura ambiente. Entre ellos estaba T.H. Maiman que, además de tener un concepto totalmente ingenieril de la ciencia (en el sentido de lograr lo mejor de la forma más fácil posible) poseía también un alto grado de independencia en sus razonamientos mentales. Gracias a todo ello, y en contra de la opinión general de todos sus colegas, tomó como material base para su estudio el rubí y como sistema de bombeo, lámparas de xenón de tipo comercial. Dado que las que se ajustaban a sus requisitos tenían, de fábrica, forma helicoidal, no tuvo más remedio que introducir al rubí en su interior para conseguir un bombeo adecuado. Y esto en contra de sus proyectos iniciales de situarle en uno de los focos de una configuración elíptica, como se hizo después. A fin de una mayor facilidad de operación tomó la lámpara más pequeña, una GE FT 506, cuyas dimensiones no llegaban a 4 cm de longitud y a 3 cm de diámetro de hélice. El rubí tenía, a su

vez, 1 cm de diámetro y 2 cm de longitud, lo necesario para ocupar el hueco interior de la lámpara. Como puede verse, nada espectacular. De hecho, es conocida la anécdota de que cuando la Hughes se dispuso a dar publicidad al descubrimiento, como el láser real era muy poca cosa, se buscó algo más fotogénico. Y se tomó como lámpara una FT 503, algo más grande que la original. Al aparecer ésta en las fotos, los laboratorios que «reprodujeron» al primer láser, lo

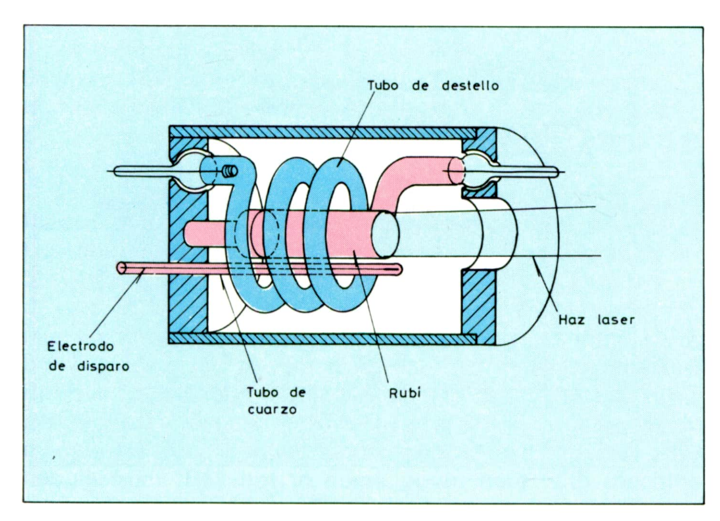


Figura 5. Configuración básica de un láser de rubí, según el esquema del primer desarrollo por Maiman y colaboradores en 1961. El tamaño real es aproximadamente de 5 × 2,5 cm.

hicieron con esta última, agotándose las existencias en el mercado en unas pocas semanas. El esquema clásico del primer láser, ampliamente conocido, quedó así en la forma que puede verse en la figura 5. Los espejos, que luego aparecerían en los modelos siguientes fuera del material, son aquí las caras externas de éste, convenientemente pulidas y metalizadas, algo análogo a lo que ocurre en la actualidad con los láseres de semiconductor. Los elementos básicos de todo láser, un material adecuado, un elemento de bombeo y espejos de realimentación formando un resonador Fabry-Perot, estaban ya presentes en este primer láser. Y el concepto de funcionamiento también; de una manera esquemática, y como recordatorio, aparece en la figura 6 En ella se encuentran los niveles de energía de los iones de cromo, aproximadamente con la concentración de entre el

0,01 y el 0,5 % en peso, en el rubí. Esa concentración supone algo así como 10^{19} átomos de Cr por centímetro cúbico; lo suficiente como para colorear ligeramente de rosado al rubí. Este esquema se corresponde con un sistema de tres niveles, ya que son solo tres los que intervienen. El

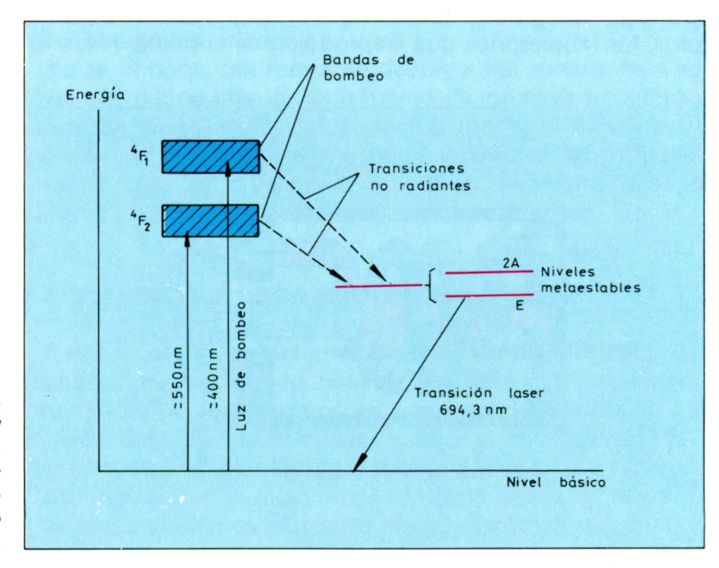


Figura 6. Diagrama esquemático de los niveles energéticos en el rubí que se corresponden con los de bombeo y laseado en una configuración clásica de láser de tres niveles.

bombeo de electrones, mediante la lámpara de xenón, tiene lugar entre el nivel básico y las bandas $^4F_1$ y $^4F_2$. Este salto es de, aproximadamente, unos 550 nm (verde) y 400 nm (azul-violeta). Los electrones tienen en estas bandas unas vidas medias de alrededor de 100 nanosegundos, cayendo a continuación a los niveles 2A y E, donde, debido a que las vidas son allí como de unos tres milisegundos, se acumulan. Si el bombeo de electrones desde el nivel básico ha sido lo suficientemente intenso, se producirá inversión de poblaciones. Esto es, habrá más electrones en los niveles 2A y E que en el básico, con lo que las condiciones adecuadas para lasear están conseguidas. La transición láser, entre el nivel E y el básico, da lugar a una emisión de 694,3 nm, o lo que es lo mismo, en el rojo profundo. Los espejos en los extremos del rubí realizan la función de realimentar los fotones emitidos espontáneamente en la dirección del eje del láser,

con lo que se fomenta la emisión de nuevos fotones, éstos ya estimulados. La amplificación de los primeros fotones iniciales ha dado lugar a una oscilación que puede ser parcialmente recogida en el exterior gracias a que uno de los espejos es parcialmente transmisor. La palabra LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) queda así justificada, y aunque sea volver un poco atrás, hay que indicar que el introductor de la misma fue el ya mencionado Gordon Gould, hecho éste con respecto al que no parece haya controversias.

Prácticamente todos los láseres trabajan en base a los mismos principios. Unicamente pueden cambiar el esquema de tres niveles a otro de cuatro, o dejarlo reducido en dos, como es el caso de los semiconductores. Pero el concepto es siempre el mismo.

Cabría preguntarse ahora, ¿y cuál fue el segundo láser? Parece que fue un grupo de dos láseres, con materiales basados en tierras raras, y sus autores fueron P. Sorokin y M. Stevenson, de IBM. En noviembre de 1960 obtuvieron uno de uranio y al principio de 1961 otro de samario. Es interesante señalar aquí un hecho curioso: tanto a éstos como a Maiman, les rechazaron sus artículos en Physical Review Letters, con la excusa de que ya tenían bastantes artículos de máseres. A Sorokin y a Stevenson, el editor, cuando les despedía, les recomendó: «Next time, tell your people from IBM not to come down here with machine guns». Sin comentarios. En cualquier caso, ambos láseres, no pasaron de ser curiosidades de laboratorio.

El siguiente láser sí puede considerarse ya de amplia difusión. Fue el de He-Ne, actualmente uno de los más difundidos y cuya emisión en el rojo, en los 632,8 nm constituye hoy, entre otras muchas aplicaciones, uno de los principales animadores de las discotecas. Fue construido a finales de diciembre de 1960 en los Laboratorios Bell y sus artífices fueron Javan, Bennet y Herriot. Aunque ellos lo hicieron lasear en las líneas del infrarrojo, su interés en nuestros días ha sido, como ya hemos dicho, en su tercera línea, en el rojo.

A partir de ese momento, comenzaron a surgir, en proceso exponencial, nuevos materiales y nuevas técnicas. Entre todos ellos quizás uno de los más significativos fue el de semiconductor. Desde antes de 1960 varios grupos iniciaron sus actividades en este campo. De hecho, en 1957, en

Japón, se solicitó ya una patente basada en ellos. El grupo de Basov hizo varias contribuciones teóricas desde 1959 y algunas experimentales en 1961. Pero no fue sino en 1962 cuando los primeros resultados experimentales vieron la luz. El 1 de noviembre aparecieron en Physical Review Letters y en Applied Physics Letters dos artículos dando resultados reales. El primero estaba firmado por R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Soltys y R.O. Carlson de General Electric y el segundo por M.I. Nathan, W.P. Dumke, C. Burns, F.H.

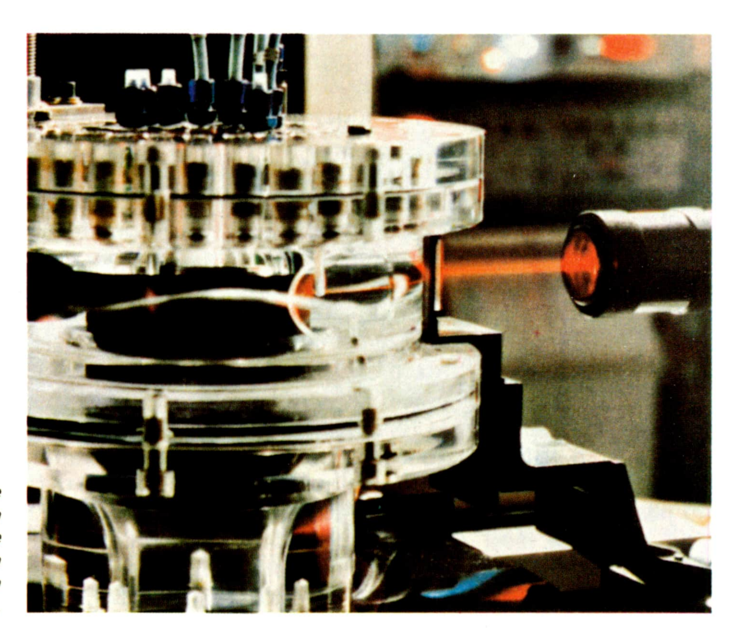


Figura 7. El láser puede ser empleado para efectuar muchos tipos de mediciones, en la figura se dedica a medir la velocidad de líquidos.

Dill Jr. y G.J. Lasher del IBM T.J. Watson Research Center en Yorktown Heights. Muy pocos días después, también en Applied Physics Letters, T.M. Quist, R.H. Rediker y R.J. Keyes, de los Lincoln Labs del MIT, publicaron el tercero. En los tres casos, el material era AsGa formando uniones p-n y el bombeo se realizaba con pulsos de corriente de alta intensidad. En todos ellos era obligado un enfriamiento criogénico, incluso trabajando en forma pulsada. A temperatura ambiente y de forma continua no se consiguió que trabajasen hasta ya muy avanzado 1970.

Entre 1963 y 1965 llegaron a aparecer más de un centenar de nuevos tipos de láseres. No puede ya detallarse, como hasta aquí, la historia y los avatares de cada uno de ellos, ya que nos saldríamos, con mucho, de los límites impuestos. Unicamente se señalarán los más significativos basándonos en su repercusión o en su empleo actual. Así, en 1963

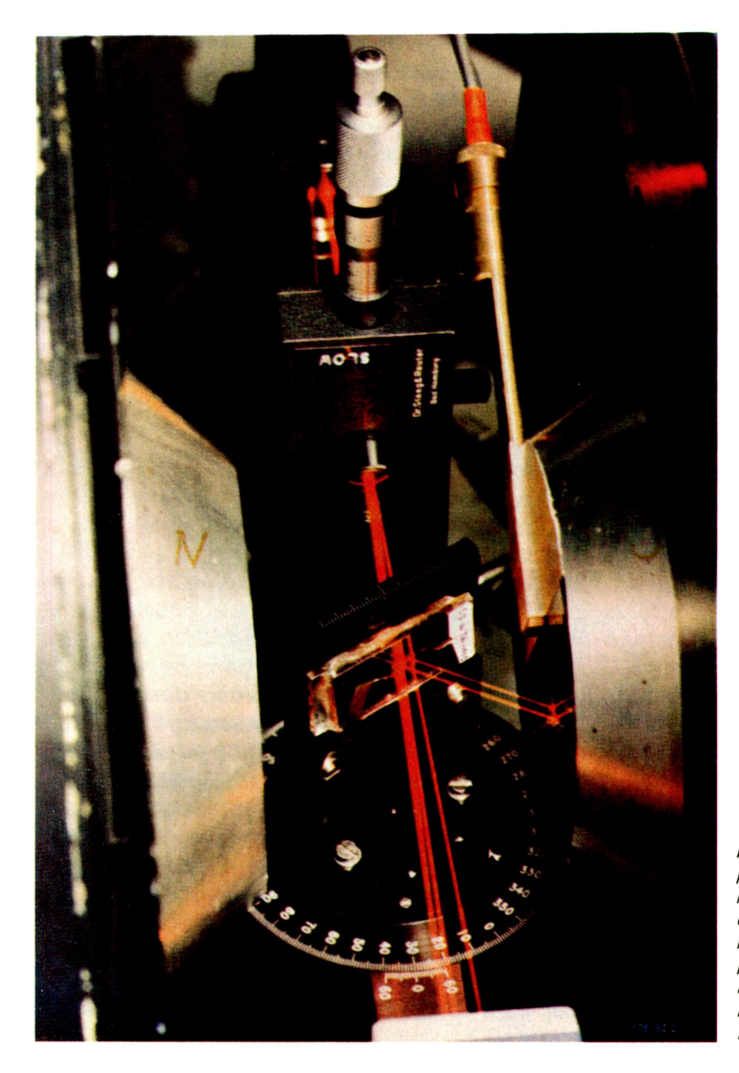


Figura 8. La gran precisión del láser permite medidas sumamente exactas de fenómenos minúsculos. Aquí se puede ver las medidas del alineamiento de las moléculas en los cristales líquidos.

aparecieron el de nitrógeno y el primer iónico pulsado. En el 64 estos últimos y, en particular, los de Ar^+ y de Kr^+, trabajaron en forma continua. Mención especial merecen, en ese mismo año, los trabajos de C. Kumar N. Patel, que condujeron al desarrollo de los láseres de CO_2 y de CO. Trabajando desde 1961 en los laboratorios de la Bell, y teniendo como objetivo la consecución de haces láser de muy alta potencia, hacia la mitad de 1965 llegó a obtener 200 vatios de radiación continua, cantidad muy superior a la conseguida hasta ese momento con cualquier otro tipo de láser. Desde ese momento, y casi con carácter de única estrella, el CO_2 ha sido el candidato favorito para ser empleado en operaciones tales como procesado de materiales o terapia médica. Su único competidor en esos campos ha sido el láser de neodimio, tanto en su versión Nd: YAG como en la Nd: vidrio, que fue desarrollado en ese año.

Siguiendo otro camino que los láseres anteriores, en 1960 Polany había propuesto un mecanismo diferente para lograr la inversión de poblaciones. Se basaba en su producción directamente a partir de una reacción química entre varios elementos gaseosos y siendo la energía producida en la misma la que daba lugar a los estados excitados. Su realización práctica se llevó a cabo en 1965, por Pimentel, y desde entonces ha seguido una trayectoria bastante irregular, con altibajos bastante significativos debidos, en su mayor parte, a su interés estratégico.

Queda otro láser importante desarrollado en ese lapso de tiempo. El 7 de febrero de 1966, Sorokin, el mismo que se mencionó antes como autor del segundo láser, consiguió efecto láser trabajando con colorantes orgánicos («dyes» en la terminología anglosajona). Su importancia desde entonces no ha decaído ya que constituye el único tipo que, en la actualidad, es sintonizable dentro de márgenes más o menos amplios. Su papel en investigación y en detección de contaminantes, por ejemplo, es absolutamente primordial.

Otros muchos tipos de desarrollaron desde entonces, por ejemplo, los de excímeros, de gran interés por sus posibilidades en el ultravioleta, o los vibrónicos de estado sólido, por su posibilidad de sintonía en el infrarrojo próximo. Y más recientemente, los de electrones libres que, aunque todavía en fase de desarrollo, puede constituir en el futuro el auténtico láser para todo uso. De ellos hablaremos en el apartado de futuro.

SITUACION ACTUAL: TIPOS, USOS Y MERCADO

Es absolutamente imposible, en un libro como el presente en el que sólo se pretende ofrecer una visión general de las clases y aplicaciones de láseres, realizar una ni siquiera mediana exposición de los diferentes tipos actualmente en uso, de sus muy diferentes campos de aplicación y del mercado que, a nivel mundial, tienen. Por ello nos restringiremos a presentar una serie de cuadros en los que, de forma sintética, se ofrezca una pequeña panorámica de todo ello. Por otra parte, ni pretenden ser exahustivos ni, con toda seguridad, serán completos. Son sólo un primer intento de resumir, en poco espacio, la casi enciclopédica variedad existente.

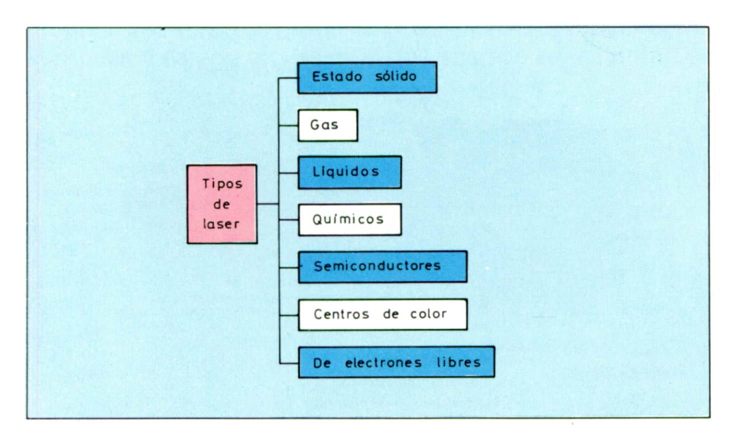


Figura 9. Aquí se resumen los principales tipos de láseres de acuerdo con el material activo que los define.

Así, en la figura 9 aparecen los diferentes grandes grupos en que se suelen dividir los láseres. De ellos, sólo los tres primeros, sólidos, gaseosos y líquidos, responden de forma directa al concepto clásico de láser con tres o cuatro niveles. Y ello a pesar de que algunos de los incluidos trabajen más con bandas de energía que con niveles discretos. Este es el caso de todos los líquidos, a base de colorantes orgánicos, o de los vibrónicos de estado sólido, como el de alexandrita. Gracias a este hecho, los primeros pueden ser sintonizados en márgenes de longitud de onda, dentro del visible, bastante amplios y los segundos, en el infrarrojo muy cercano.

Por otra parte hay que recalcar el hecho de haber separado a los láseres basados en uniones semiconductoras de los de estado sólido. Esto se debe a que el mecanismo de laseado en ellos, y que ya es sobradamente conocido, es muy diferente a los convencionales de, por ejemplo, rubí o Nd: YAG. Debido a su forma de trabajo, los de semiconductor tienen una serie de propiedades que los separan, además, de todos los demás. Así, pueden ser modulados directamente, en función de la intensidad de corriente que los atraviesa, en lugar de requerir un modulador externo, como es el caso del resto. Gracias a ello han adquirido la preponderancia tan absoluta que tienen, además de por su tamaño, en campos como las Comunicaciones Opticas.

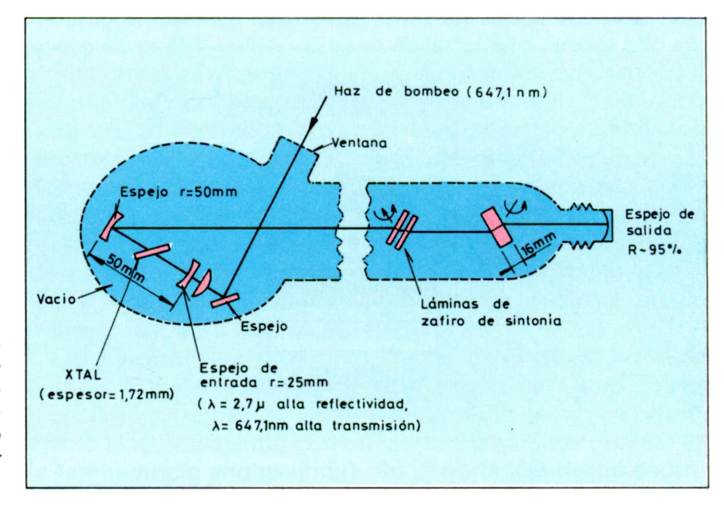


Figura 10. Configuración típica de un láser de centros de color. Los datos de la figura se refieren a un láser de Li:Cl K bombeado longitudinalmente por otro láser de Kr^+.

Los dos últimos, los de centros de color y los de electrones libres, principalmente estos últimos, se encuentran todavía en fase muy embrionaria de desarrollo. Los de centros de color, basados en haluros alcalinos, tienen la raíz de su forma de trabajo en las diversas bandas de absorción y emisión que tienen dichos compuestos cuando su estructura es parcialmente alterada por la presencia de vacantes o impurezas de otros elementos en ellas. Su esquema de funcionamiento es, en un contexto muy simple, también el de un láser de cuatro niveles; la realidad es que son bandas lo que entra en juego,

con lo que puede llegar a obtenerse una cierta sintonizabilidad. De hecho, en la actualidad pueden abarcar el rango de 0,8 a 3,3 micras, o lo que es lo mismo, cubren a partir del valor en el que dejan de trabajar los de colorantes orgánicos. Este hecho los hace candidatos muy idóneos para cubrir una zona del espectro poco cubierta hasta hoy. Pero tienen, por el momento, una muy severa desventaja: requieren trabajar a temperaturas criogénicas, usualmente alrededor de 77°K. Si esto no se cumple, la vida de los centros de color no es, en muchos casos, superior a un día. Además, es preciso mantenerlos en vacío. Ambos hechos implican un uso muy poco extendido fuera del laboratorio, aunque para espectroscopía molecular y para evaluación de fibras ópticas sean de un gran interés. Es de esperar que con ellos ocurra como los de semiconductor en la década de los 60 y se llegue pronto a una solución que elimine las anteriores desventajas. El esquema de uno en uso es el que aparece en la figura 10.

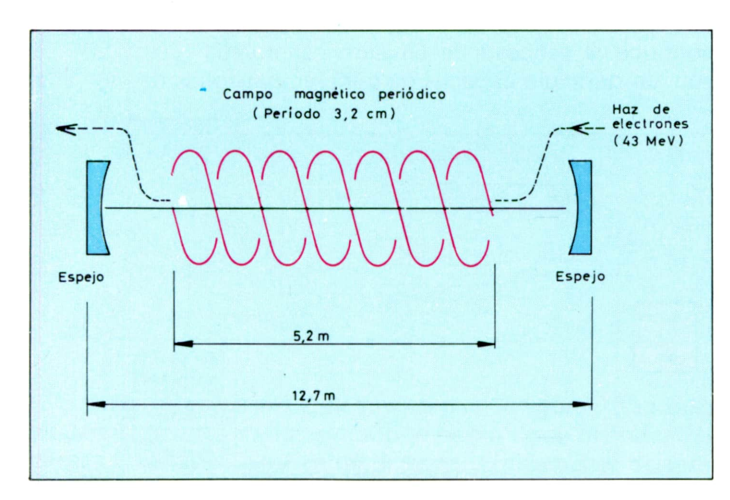


Figura 11. Diagrama esquemático de un láser de electrones libres según un desarrollo de Deacon y sus colaboradores.

Los de electrones libres constituyen otro grupo digno de atención. Aquí el concepto que se maneja es por completo diferente a todos los demás. En los anteriores siempre se trataba con electrones que, de una manera más o menos amplia, estaban obligados a moverse dentro de una pequeña zona de espacio. Se pasaba, como mucho, de tener que estar

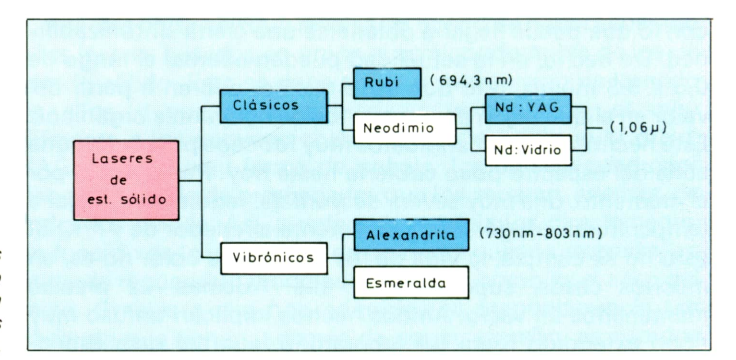


Figura 12. Principales tipos de láseres de estado sólido, clasificados según los materiales que los forman.

unidos a un átomo o a una molécula a poder moverse dentro del volumen de un semiconductor. Pero nada más. Aquí, en cambio, los electrones están absolutamente libres ya que se mueven en el vacío. Su único condicionamiento es que están obligados a desplazarse a través de un campo magnético periódico. Y su interacción con él es el que conduce al proceso de emisión estimulada. Estos láseres son, en principio capaces de generar emisiones de muy alta

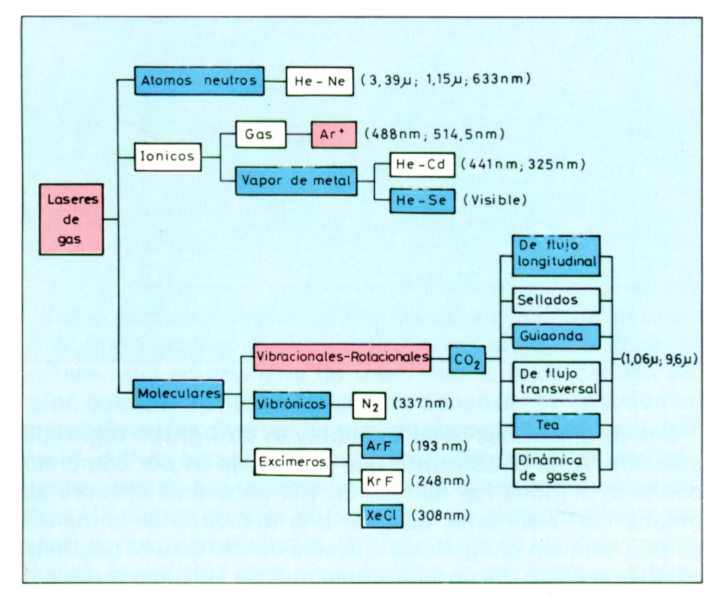


Figura 13. Diferentes tipos de láseres de gas, distribuidos en principio según la forma iónica o molecular.

intensidad de pico, varios megavatios por centímetro cuadrado, y con longitudes de onda que pueden ir desde el infrarrojo, al ultravioleta y, quizás, hasta a los rayos X. Ello se debe a que dicha longitud de onda depende de la velocidad inicial de los electrones y de la longitud del período del campo magnético. Pero en el momento presente sólo están trabajando, con el esquema de la figura 11, en 3,4 micras y con una potencia de salida de 0,36 W. Será necesario vencer los problemas actuales, que dan un rendimiento menor del 0,5 %, para que este láser sea el verdadero caballo de batalla para todo uso. Su previsible versatilidad no es igualada por ningún otro, pero parece que falta todavía bastante para que se alcance en su totalidad. Sin duda, cuando se logre, se podrá decir que se dispone de un láser «todo terreno».

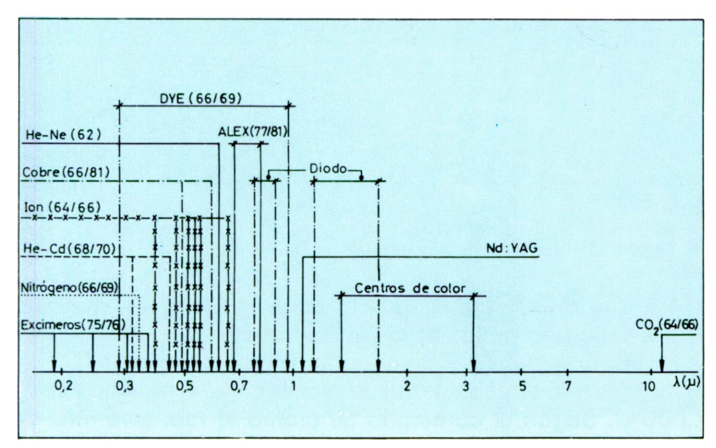


Figura 14. Longitudes de onda de trabajo de los principales tipos de láseres actualmente en uso. A continuación de cada tipo se indica el año en que se hicieron trabajar por primera vez y el año en el que aparecieron comercialmente.

El resto de los láseres, que aparecen en la figura 9 han sido ya parcialmente tratados cuando se habló de su historia. No parece oportuno volver aquí al tema. Unicamente se han desarrollado en las figuras 12 y 13 los bloques de láseres de estado sólido y de gas, a fin de indicar algo más de sus diferentes formas de trabajo y frecuencias de laseado.

El resumen de las zonas que cubren aparece sintetizado en la figura 14. Como puede apreciarse la mayor concentración se encuentra en el visible aunque es seguro que este hecho quede alterado muy pronto, alcanzándose regiones más alejadas hacia el ultravioleta y el infrarrojo.

Sólo queda hablar algo del mercado y de los usos más comunes. Ambos hechos aparecen en la figura 15. El mercado está referido a cifras de ventas en los Estados Unidos que son, actualmente, el principal suministrador de láseres a todos los países occidentales. La producción europea, en su totalidad, no alcanza ni al 10 % de ella. Por lo que se refiere a usos, aparecen únicamente los más usuales y aquellos que pueden englobarse bajo un gran epígrafe, como comunicaciones o metrología por ejemplo. No se detallan sus múltiples usos en investigación y desarrollo ya que sería prácticamente imposible; de hecho es muy difícil hoy encontrar un campo de la ciencia en que no tenga empleo.

Tipos de láser	*Número unidades*	*Cifra de ventas*	*Aplicaciones principales, según su volumen económico*
Helio-Neón	212.395	42,6	Artes gráficas, Metrología, I+D, «Scanners», Militares, Medicina.
Iónicos (Ar^+ y Kr^+)	10.765	68,6	Medicina, Artes gráficas, I+D, Metrología, Exhibiciones.
Helio-Cadmio	1.430	4,9	Artes gráficas, I+D.
Colorantes	739	23,7	I+D.
Dióxido de carbono	2.224	77,9	Proceso materiales, Medicina, I+D.
Estado sólido	4.541	118,6	Militares, I+D. Proceso de materiales.
Diodos	979.300	66,7	Comunicaciones ópticas, I+D, Militares, Metrología.
Excímeros	397	13,1	I+D. Proceso de materiales.

Figura 15. Número de láseres de diferentes tipos vendidos en 1984 y valor estimado en millones de dólares (incluyendo componentes para reposición) (Adaptado de «Lásers & Applications», Enero 1985 y J.M. Orza, «Arbor» Marzo 1985.

El laser de rubí

Aunque ya expusimos antes unas ideas generales, veamos ahora cada uno de los tipos de láseres con mayor detalle.

El rubí puede ser fabricado artificialmente mezclando óxido de aluminio con óxido de cromo a una temperatura de 2.000°C. Según el contenido de cromo el rubí será más o menos rojo, ya que el cromo contenido en la red cristalina absorbe, además de los rayos ultravioleta, una amplia franja de color verde y amarillo dejando pasar a su través el rojo y el azul.

Si se excita el rubí con luz, los átomos de cromo se activan pasando sus electrones a los niveles energéticos altos. El paso inverso no se realiza de una vez sino en dos etapas. Durante la primera los átomos excitados ceden parte de su energía a la red cristalina de óxido de aluminio y se quedan en el nivel metaestable, posición en la que pueden permanecer algún tiempo. En la segunda etapa, los átomos pasan del estado metaestable al fundamental emitiendo fotones correspondientes a la luz roja (0,69 micras).

Si no se acelerara el proceso de tránsito de la etapa metaestable a la fundamental, el rubí se limitaría a brillar con una luminiscencia rojiza denominada fluorescencia.

Pero los primeros y poco numerosos fotones que aparecen en el láser con longitud de onda en la zona del rojo, provocan la radiación forzada de fotones del resto de los átomos del rubí surgiendo así una cascada de fotones.

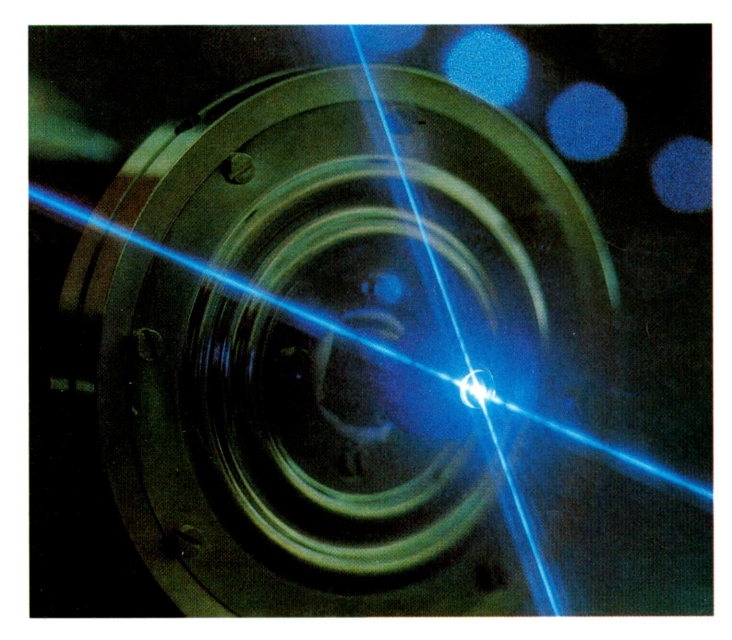


Figura 16. Haz azul correspondiente a un láser de argón-ión, con resonador integrado. (Cortesía: Siemens).

El resonador óptico se realiza plateando ambos extremos de la varilla de rubí, uno de los cuales se platea menos. La varilla de rubí así construida se coloca en el centro de una lámpara helicoidal de destellos. Cuando se conecta la lámpara casi al instante surge por el lado semitransparente un potente rayo rojo.

Para el correcto funcionamiento del láser de rubí es necesario disponer de una buena lámpara, además de un buen sistema de enfoque de la misma sobre la varilla de rubí.

Las lámparas hoy en día utilizadas son las fuentes de excitación de plasma: lámparas tubulares de impulsos con xenón, lámpara de arco con xenón o mercurio.

Para aumentar la velocidad de salida del láser se requiere que la lámpara emita la mayor parte de esa luz en la gama en que va a emitir el láser.

En cuanto a los sistemas de enfoque, en general son reflectores de diferentes configuraciones y normalmente están construidos en aluminio o en acero inoxidable.

Tanto la lámpara como el sistema de enfoque y la varillla necesitan ser refrigerados, llegando incluso a ser necesaria la utilización del nitrógeno líquido (−176°C).

Por lo que se ha visto, se comprende fácilmente que un láser de cuerpo sólido es un dispositivo complejo, además de precisar aparatosos bloques eléctricos para su alimentación.

Entre los láser de rubí que ya han encontrado aplicación práctica, se encuentran aquellos de los que se obtiene una potencia de radiación de 2 a 4 W, con una frecuencia de repetición de impulso de 100 Hz.

En los últimos años, se han desarrollado láser con una potencia de cresta colosal concentrada en impulsos muy cortos (de algunos nanosegundos). La técnica utilizada para conseguir tales potencias consiste en colocar entre la varilla y el espejo semitransparente una barrera óptica. Cuando se elimina la barrera surge por este extremo un potente rayo que libera instantáneamente la energía acumulada. Normalmente, la barrera óptica suele ser una célula de Kerr. La célula de Kerr consiste en una cavidad de vidrio rellena de benceno líquido a la que se han soldado unos electrones de níquel. Sólo cuando carece de tensión el dispositivo deja pasar la luz.

Aun pueden conseguirse mayores potencias si a este láser se le añade un amplificador. El amplificador está formado por una varilla de rubí, cuyos extremos son incapaces de reflejar la luz excitada por su propia lámpara.

En régimen de impulsos se pueden llegar a conseguir 2.000.000 de kW.

En otros láser de cuerpo sólido se han conseguido alcanzar hasta 6.000.000 de kW.

Funcionamiento de los láser de gas

En principio, el mecanismo de los láser de gas es el mismo que el de los de cuerpo sólido, pero tienen ciertas peculiaridades que se van a describir a continuación. El

primer generador cuántico óptico que funcionó en régimen continuo fue un láser de gas. Estaba formado por un tubo relleno de una mezcla de neón y de helio, en cuyos extremos estaban colocados los espejos que formaban el resonador. Dentro del tubo se provocaba una descarga eléctrica con una frecuecia de 30 MHz que excitaba los átomos de la mezcla gaseosa.

Existe un segundo tipo de láser de gas: el denominado iónico, caracterizado por utilizar gas ionizado en vez de gas neutro.

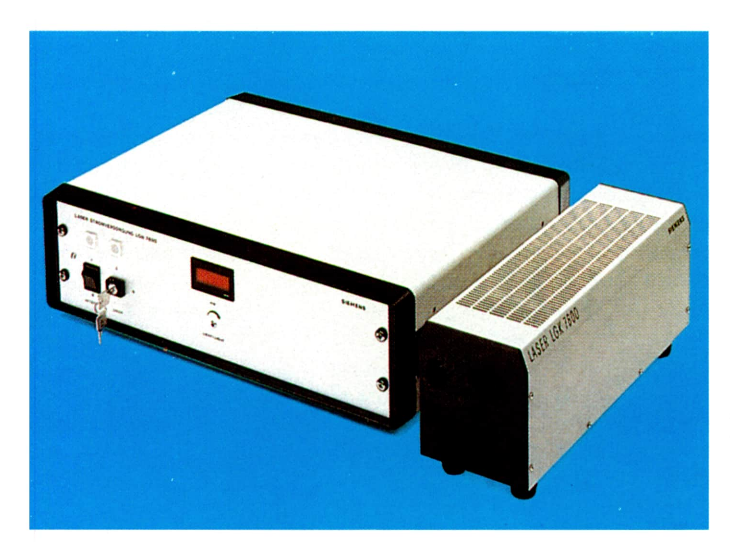


Figura 17. Láser de argón-ión LG 7800, de Siemens, presentado en forma de módulo compacto y la fuente de alimentación auxiliar.

En este tipo de láser la excitación puede realizarse por medio de una fuente de alta frecuencia o de una corriente continua bajo una descarga de arco de alta tensión.

El tercer tipo de láser de gas es el denominado láser molecular, en el que se supone que la radiación estimulada se produce en el paso entre los llamados niveles energéticos oscilante-giratorios del estado electrónico fundamental.

Las cualidades características de los láser de gas son su gran potencia de radiación y su alto coeficiente de rendimiento. En los aparatos que funcionan con gas carbónico, en régimen continuo, la potencia es de 1 kW y el rendimiento entre el 12 y el 16 %.

El láser de semiconductor

En un semiconductor existen tres zonas energéticas bien determinadas: la zona libre o banda de conducción; la zona prohibida, que está fomada por aquellos niveles en los cuales es imposible encontrar un electrón, y la zona llena o banda de valencia.

Cuando se comunique suficiente energía a un electrón situado en la banda de valencia, éste pasará a ocupar un nivel energético en la banda de conducción, con lo cual habrá un «hueco» en la banda de valencia. Al volver el electrón a la zona de valencia se dispondrá a ocupar el puesto que dejó (se recombina el electrón y el hueco), desprendiéndose energía en forma de cuantos de radiación luminosa.

Si la corriente utilizada para la excitación es pequeña, el proceso anterior es caótico debido a que son pocos los electrones que toman parte en el proceso, emitiendo entonces una radiación luminosa que abarca un amplio espectro de frecuencias. Cuando la cantidad de corriente excitadora sea lo suficientemente alta para que el número de protones de luz aparecidos en la recombinación supere el número de fotones absorbidos por la sustancia del diodo, la reacción se convertirá en coherente.

En un láser de semiconductor, dos de las caras del cristal perpendiculares al plano de la unión se someten a una elaboración basta, mientras que las otras dos, rigurosamente paralelas, se elaboran a la perfección. La radiación luminosa va preferentemente a las caras elaboradas.

El material básico utilizado en la construcción de diodos láser semiconductor es el arseniuro de galio con adición de cinc, cristales de cinc y azufre, indio y fósforo, etc.

Los láser de semiconductor pueden funcionar tanto en régimen de impulsos como en continua, pero por norma general debería de estar refrigerada para obtener potencias de salida elevadas (con helio líquido).

También funciona a temperatura ambiente, pero en este caso la potencia de radiación no sobrepasa el orden de los miliwatios.

El láser en las comunicaciones

La utilización de la gama óptica de oscilaciones electro-

magnéticas puede ampliar y mejorar las comunicaciones por radio. Se calcula que el dominio de la gama que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, permitiría transmitir por unidad de tiempo una información mil veces mayor que la que se transmite actualmente por todos los medios radioeléctricos del mundo.



Figura 18. El estudio del láser debe realizarse de forma cuidadosa, no hay que olvidar que se comporta como un rayo luminoso de forma direccional y que puede canalizarse mediante fibras ópticas.

Linear láser de comunicaciones

Las señales telefónicas o las de una cámara de televisión seguirán siendo transformadas en señales de tensión por el procedimiento normal, luego se amplificarían y se pasarían a un modulador óptico. El rayo láser es modulado por la señal, la cual es así transmitida por el canal correspondiente.

En los receptores existirían los fotomultiplicadores de onda progresiva, en los cuales los electrones surgidos como resultado de la fotoemisión se enfocan en haz y luego se

amplifican de cierta manera. Una vez amplificada y transformada en el fotorreceptor, la señal eléctrica pasará al receptor.

Todo lo anterior correspondería a un sistema óptico especial para el que sería necesario utilizar láser de grandes potencias.

Pero donde la evolución ha avanzado más ha sido en la utilización de los láser de semiconductor. Estos se están imponiendo hoy en el mundo por su bajo coste, su fácil utilización y por el desarrollo tecnológico que ha experimentado un nuevo elemento: la fibra óptica.

El diodo láser emite la luz coherente y la fibra óptica la guía a su destino.



Figura 19. Láser de CO_2 preparado para trabajar con un robot en aplicaciones industriales. (Cortesía: Crilaser).

PREVISIONES FUTURAS

A los pocos meses de descubrirse el láser se dijo de él que era «una solución a la búsqueda de un problema». Y esto ha sido realidad hasta hace muy poco. Prácticamente todos los campos de la ciencia y la técnica han hecho uso de él y gracias a él han realizado espectaculares avances. En la mente de todos están las comunicaciones ópticas, el procesado y tratamiento de materiales, sus usos en medici-

na, en telemetría, en reproducción de sonido, en espectáculos, la holografía. Todo ello se ha desarrollado gracias a que existía el láser y con él se creó la necesidad de usarlo.

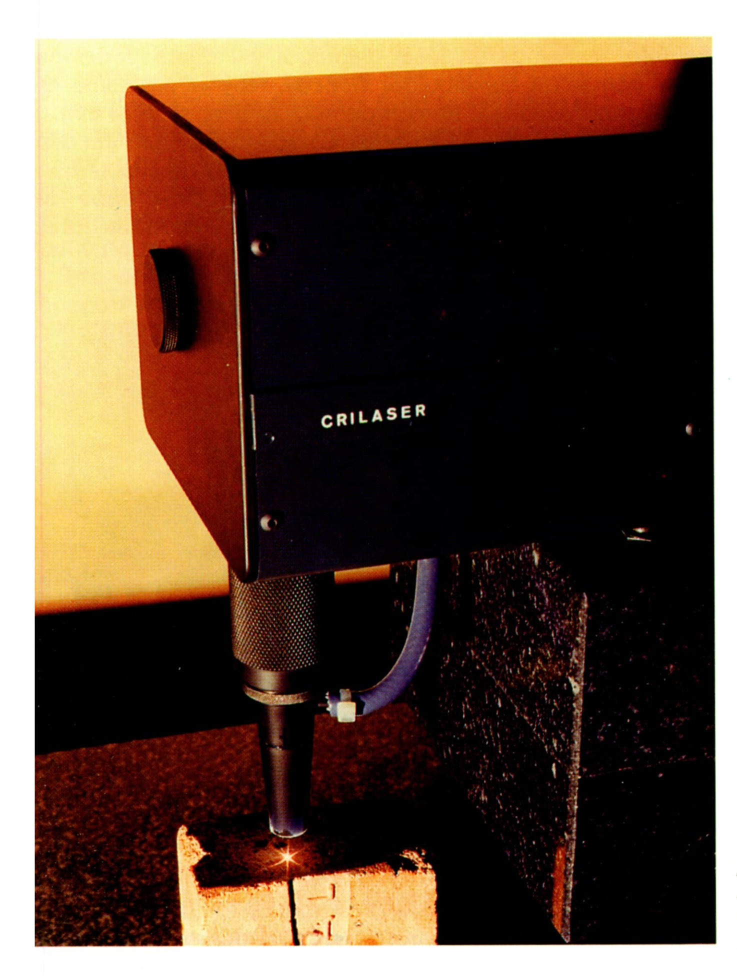


Figura 20. Cabezal de un láser que emplea el CO_2 como elemento base. (Cortesía: Crilaser).

Pero la situación hoy es otra. Se ha pasado de que sea una solución a ver si el láser tiene solución para un problema anterior. Las preguntas han vuelto a estar delante de las contestaciones. Ya no se tiene un láser y se pregunta qué se

puede hacer con él. Ahora se tiene un reto y se mira a ver si hay un láser que lo pueda vencer. Y si no, se trata de encontrar uno que lo haga. Y en función de ello ha comenzado una carrera en la que se trata de obtener nuevos tipos de láseres y nuevas formas de trabajo. Ya no es, por ejemplo, «tenemos un láser, vamos a ver cómo podemos hacer con él un computador óptico». Hoy el problema es «queremos desarrollar un computador óptico, veamos cómo tiene que ser el láser a emplear y hagámosle». La filosofía total ha dado un giro de 180°. Y en función de ello se han comenzado a desarrollar una serie de nuevos tipos de láseres, un ejemplo de los cuales es el de electrones libres que se mencionó anteriormente.



Figura 21. Aspecto que presenta un laboratorio destinado a comprobar los láseres de CO_2 para asegurar el correcto funcionamiento. (Cortesía: Crilaser).

Cabría hacer así un pequeño estudio de hacia dónde va el láser. Se usarán mayores potencias cuando sea menester o se incrementará su velocidad de emisión de pulsos si así se requiere. Pero el concepto ya está fijado. Queda ver qué hay después.

Y después hay una serie de campos en los cuales el láser todavía sólo ha entrado muy tímidamente, si es que ha entrado.

Nos estamos refiriendo, entre otros, por ejemplo, al de los computadores ópticos, mencionado antes. Desde hace unos cinco años, uno de los campos más activos ha sido éste. Pero por el momento se encuentra aún en fase preembrionaria.

Los láseres existentes sólo valen parcialmente; la filosofía del ordenador ha de ser otra que para el electrónico; los dispositivos actuales no valen. Sólo se sabe que se quiere un ordenador que funcione fotónicamente y poco más.

Los palos de ciego que se están dando en todas direcciones son innumerables. Y lo único seguro que se sabe es que tiene que haber un láser por medio. Ni el tipo, ni la forma de trabajo se saben aún.

Otro campo: el reconocimiento desde el espacio de la topografía terrestre y la composición de la atmósfera. Técnicas como el LIDAR son conocidas desde hace muchos años. Pero aún quedan muchas dudas en torno a los láseres a usar.

La estabilidad de frecuencia es un parámetro que no está lo suficientemente conseguido en los láseres, como el de CO_2, usados hasta la fecha. Por ello será preciso desarrollar nuevos tipos que aún no se prevé cuáles puedan ser. En cualquier caso, láseres trabajando a bordo de satélites no serán raros dentro de cinco años. Y no con fines de «defensa» sino con misiones puramente civiles, destinados, sobre todo a las comunicaciones.

Y otro: la fusión nuclear. Aunque aquí la controversia es grande, el láser puede que tenga un papel importante. Hasta que se decida qué tipo de confinamiento es el más adecuado, el láser sigue siendo un candidato cualificado.

Y otro: la interacción con tejido vivos. Este tema está también dando sus primeros pasos. No es el ya conocido del láser en terapia, sino el del estudio de cuál es la influencia sobre el desarrollo y evolución de las células, de una radiación láser. Las posibilidades de originar mutaciones o alteraciones están presentes en muchas investigaciones en este campo.

Y otro: la televisión en relieve, en la que por técnicas holográficas y haz de fotones en lugar de electrones pueda conseguirse dicho efecto. Aunque aquí lo único que se tiene es el láser; falta lo más importante: la pantalla de proyección.

Y otro... pero más vale que lo dejemos aquí, porque entraríamos en el terreno de la ciencia-ficción.

FIBRAS OPTICAS

Aunque las propiedades de la transmisión de la luz en fibras ópticas son conocidas desde hace años, su utilización en sistemas de comunicaciones no era posible por la gran atenuación que presentaban.



Figura 22. Parte del proceso de extracción de una fibra óptica. Esta operación debe realizarse mediante complejos equipos y personal cualificado.

En 1966 se dieron a conocer unos trabajos, debidos a Kao y a Hockman, en los que se predecía la posibilidad de conseguir fibras ópticas para sistemas de transmisión si se mejoraban las técnicas de preparación del vidrio (mayor pureza).

La primera consecuencia de este estudio tuvo lugar en 1970, en la forma de una fibra óptica con tan sólo una atenuación de 20 dB/km. Esto fue un hito, a partir de entonces las cosas se han precipitado a velocidad de vértigo, hubiéndose llegado a obtener fibras ópticas con tan sólo, 0,5 dB/km de atenuación.

Constitución de las fibras ópticas

Una fibra óptica, en general, consiste en un núcleo dieléctrico de vidrio inorgánico rodeado por otro material que generalmente tiene un índice de refracción más bajo. La composición de los materiales, diámetro del núcleo, espesor

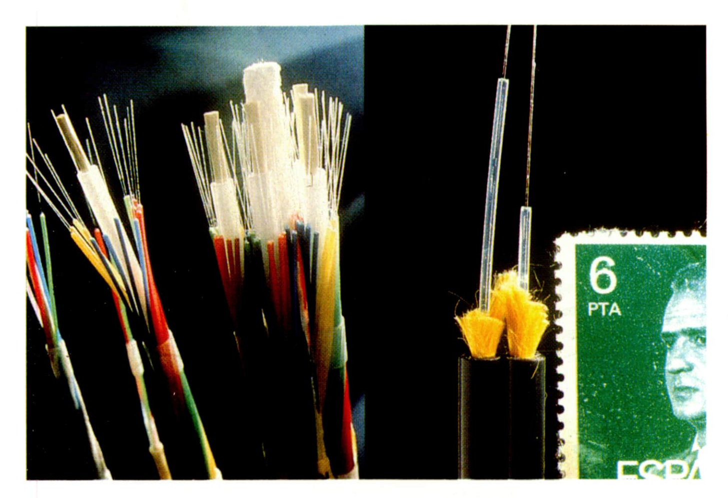


Figura 23. Muestrario de fibras ópticas, individuales y formando parte de cables que contienen varias fibras para permitir las comunicaciones múltiples. (Cortesía: Standard Eléctrica).

del recubrimiento, etc. son parámetros de diseño que tienen influencia sobre las características de atenuación y dispersión. La dispersión no es más que el ensanchamiento del pulso de luz cuando se propaga a lo largo de la fibra.

Pueden distinguirse tres tipos de fibras ópticas según la forma en que se propaga la luz en su interior. Las fibras monomodo son aquellas en las que la luz se propaga preferentemente un modo. Las fibras multimodo, en las que se pueden distinguir las de índices de refracción progresivo o las de salto de índice. En las primeras el índice de refracción disminuye hacia el exterior, por lo que se trata

siempre de mantener la onda luminosa en el centro de la fibra, mientras que en la segunda se intenta mantenerla dentro del material interior. Las primeras poseen un ancho de banda muy superior a las segundas.



Figura 24. Equipo dotado de fibra óptica que transmite luz en la gama ultravioleta.

El ancho de banda de una fibra viene limitado por el ensanchamiento de los impulsos al propagarse por la fibra. El rayo que menor distancia recorre es el que viaja paralelo al eje de la fibra (que no es reflejado en su interior). En general se expresa en megahercios por kilómetro. En las fibras empleadas actualmente el ancho de banda oscila entre

algunos megahercios por kilómetro y varios gigahercios por kilómetro.

La atenuación en una fibra óptica relaciona la potencia emitida a la entrada de la misma y la recibida a su salida. Si se hace una analogía con el hilo de cobre, las pérdidas en una fibra podrían ser asimiladas a la resistencia del hilo de cobre. La atenuación depende directamente de la longitud de onda que la atraviesa.

Otra característica de las fibras ópticas es su apertura numérica, definida como el seno del semiángulo en el interior del cual se puede inyectar la luz en la fibra. Para obtener un buen acoplamiento entre emisor y fibra, y receptor y fibra, es interesante disponer de una gran apertura numérica, ya que esto permitirá el uso de diodos emisores de luz poco directivos, como los LEDs, en vez de utilizar los más

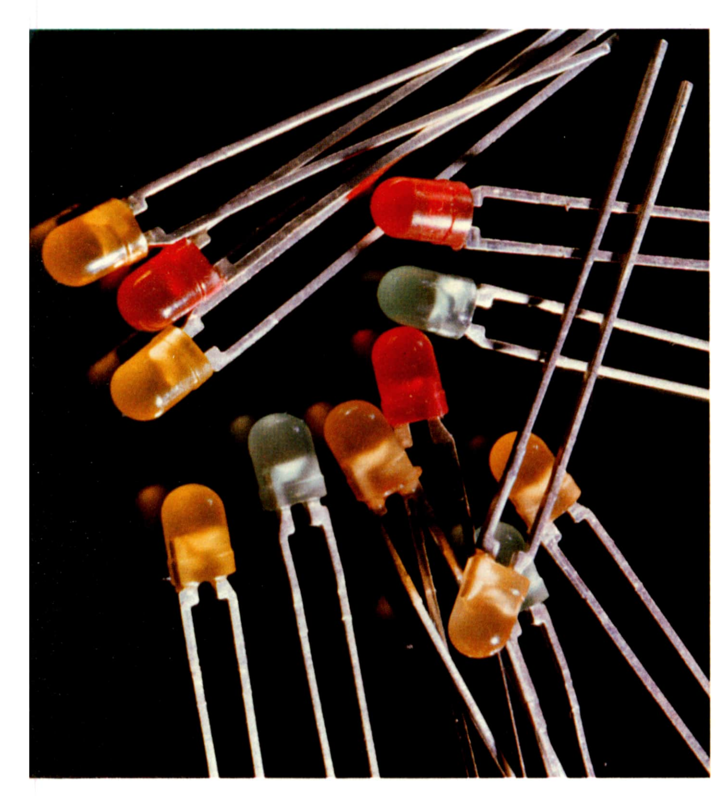


Figura 25. Los diodos LED se utilizan también como emisores de luz en los equipos de transmisión por fibras ópticas.

costosos diodos láser. Pero un aumento de la apertura representa una disminución del ancho de banda.

Otras características importantes de las fibras ópticas son las dimensiones geométricas, tales como los diámetros del corazón y de la vaina, la concentricidad corazón-vaina y el radio de curvatura máximo, así como la resistencia a la tracción y la capacidad de interconexión.

Funcionamiento de la transmisión por fibras ópticas

El modo más sencillo de considerar la transmisión sobre guiaondas ópticas, es pensar en términos de reflexión total en la frontera de dos medios de distinto índice de refracción. Para una combinación de índices de refracción determinada, a medida que se reduce el diámetro del núcleo disminuye el número de modos que se propagan, y cuando el diámetro llega a ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la luz, sólo se propaga el modo simple.

Debido a las reflexiones, existe una dispersión de los impulsos debida a los diferentes tiempos de propagación tomados por la energía para propagarse por caminos diferentes. Para evitar este problema se crearon las fibras de índice de refracción progresivo en sentido decreciente hacia fuera.



Figura 26. Comprobación del conexionado de dos fibras ópticas. Es una operación delicada ya que de la unión correcta se deriva la posibilidad de efectuar empalmes y conseguir distancias muy grandes.

Emisores para fibras ópticas

Si se examina la curva de atenuación espectral de una fibra óptica, se pueden distinguir dos zonas de poca atenuación. En la primera la longitud de onda está comprendida entre 0,8 y 0,9 micras. En ella se pueden utilizar como emisores los diodos LED o los diodos láser, cuyas características de emisión de luz coinciden con esas longitudes de onda. Si por el contrario se quiere utilizar la zona dos, será necesario utilizar diodos láser especiales, en los que se está investigando en la actualidad.

Por tanto, los emisores prácticos actuales son los LED, que emiten luz incoherente, y los diodos láser, que la emiten coherente. Otro emisor importante que se puede posicionar muy fácilmente en la fibra es el diodo Burrus.

Otro diodo que suele utilizarse como emisor es el Edge, cuyo haz luminoso es menos divergente que el de Burrus, lo que hace disminuir las pérdidas de acoplamiento, pero tiene la desventaja de que su posicionamiento en la fibra es delicado.

El diodo que mejor se adapta a la fibra es el láser, pero tiene la desventaja de su duración, que en la actualidad sólo alcanza 10.000 horas de funcionamiento frente a las 100.000 de los LEDs.

Con una corriente de excitación de 100 mA el diodo Burrus es capaz de dar un nivel luminoso a su salida de 5 dBm, y el láser de 10 dBm. El primero es una fuente de luz no coherente, por lo que no es adecuado para velocidades de transmisión de más de unas cuantas centenas de Megabits/s. El láser, en cambio, en su forma actual es semicoherente, por lo que puede llegar a alcanzar velocidades de varios cientos de Megabits/s.

Modulación de los emisores

Para los diodos LED la modulación es muy fácil. Basta con modular la corriente de inyección del diodo. Los tiempos de subida y de bajada, que son del orden de 5 a 10 nanosegundos, permiten trabajar al LED con frecuencias comprendidas entre 50 y 100 MHz.

Los diodos láser necesitan una corriente de polarización a causa de su umbral de emisión. Además, como consecuencia de su deriva con la temperatura, necesitan de una buena

regulación; la corriente de deriva es comandada por la señal fotoeléctrica de un fotodiodo acoplado al diodo láser. Los tiempos de subida y bajada para este diodo están comprendidos entre 0,1 y 5 nanosegundos, lo que los hace óptimos para trabajar con frecuencias de hasta gigahercio.

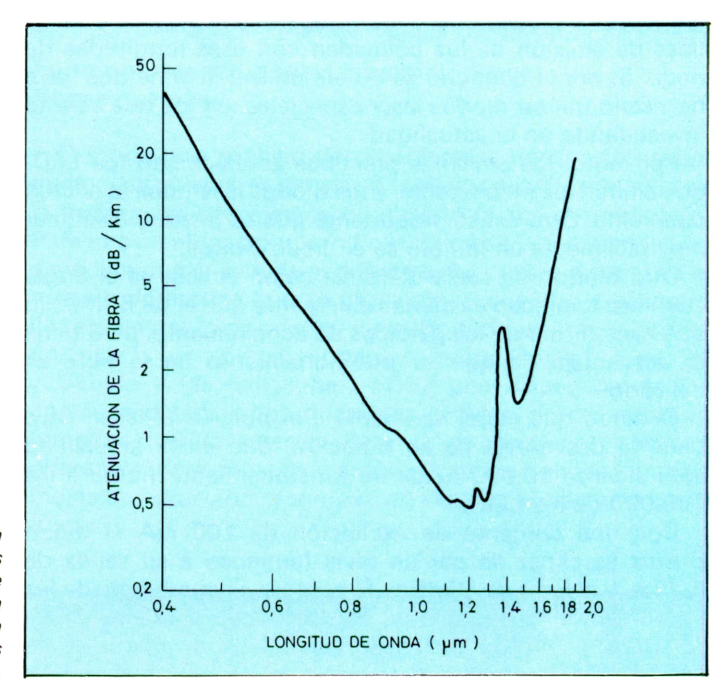


Figura 27. La atenuación que sufren las fibras ópticas es importante cuando aumenta la distancia y cuando la longitud de onda es elevada.

El receptor

El receptor está formado normalmente o bien por un diodo PIN o bien por un diodo PπPN (de avalancha) polarizados inversamente. Los fotones incidentes crean electrones libres (y por tanto «huecos») lo cual produce una corriente. En el caso de los PπPN, el fenómeno de avalancha permite multiplicar por 100 la corriente fotoeléctrica, con la ventaja, además, de su gran sensibilidad, lo que permite utilizarlos a frecuencias superiores al gigahercio. Pero la gran desventaja es que requieren tensiones de polarización de hasta 300

voltios y presentan un gran ruido de fondo que se suma al efecto de avalancha.

El circuito de polarización actúa a corriente constante para señales débiles y pasa automáticamente a funcionar a tensión constante para señales luminosas más fuertes. Mediante este procedimiento se consiguen estabilizar los parámetros del diodo PπPN y, sobre todo, la ganancia de avalancha, sin necesidad de ningún bucle de realimentación.

Los diodos PIN de silicio se ajustan bien espectralmente a los sistemas que trabajan en la banda comprendida entre 800 y 900 nm. Pero su respuesta disminuye a longitudes de onda por encima de 1.100 nm. Como consecuencia, el esfuerzo investigador se ha volcado hacia la obtención de diodos PIN de arseniuro de galio.

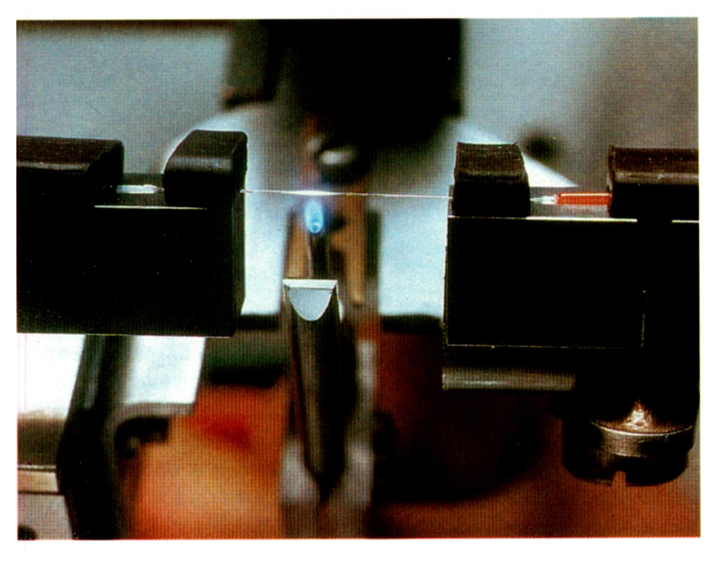


Figura 28. La soldadura de fibras ópticas debe efectuarse con precisión dado que se trabaja con dimensiones muy reducidas. El punto de unión entre dos tramos no debe ser un obstáculo para la transmisión óptica. (Cortesía: Standard Eléctrica).

La relación entre el coste de un diodo de avalancha y otro PIN suele ser de 10:1 (no especificamos costes reales por variar con suma frecuencia, especialmente a la baja).

Hay ya empresas que han combinado en un solo circuito integrado el receptor y el amplificador, otras que suministran el módulo de recepción completo, aunque no en un solo chip.

Sistemas operativos en la actualidad

Dada la gran proliferación y la creciente implantación de sistemas de fibra óptica a lo ancho de la geografía mundial, una descripción detallada de todos ellos sería excesivamente larga, por lo que sólo se van a nombrar algunos.



Figura 29. Laboratorio de control de calidad de cables de fibra óptica en la factoría de Standard Eléctrica en Santander, primera en introducir la fabricación en España de este tipo de cables.

El más antiguo en cuanto a su instalación está situado en Long Beach California, en la central Telefónica de General Telephone. Posee seis cables con una atenuación de 6,8 dB/km y la longitud del tendido es de 9 km. Tiene repetidores cada 3,7 km. El emisor es un LED y el receptor un diodo de avalancha. La velocidad de transmisión es 1,544 Mbits/s.

El tendido más largo corresponde al instalado en Alberta (Canadá) con una longitud total de 54 km y su velocidad es 274 Mbits/s.

El que mayor número de fibras posee es el instalado en Chicago por Western Electric para ATT, con 24.

Esto es lo más relevante en cuanto a lo que hay instalado en países de habla inglesa, pero el área hispanoparlante

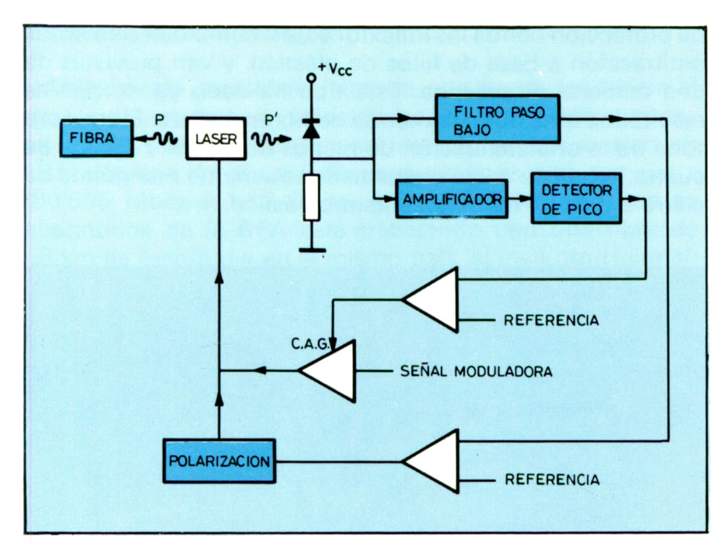


Figura 30. Sistema de estabilización de la polarización para un diodo láser.

también se muestra receptiva a la adopción de estos sistemas; así, la Empresa Nacional de Telecomunicaciones de Argentina, ENTEL, ha puesto recientemente en servicio un sistema de transmisión digital con fibras ópticas que constituye el primer trayecto de transmisión óptica del país. Dicho cable, que tiene una longitud de 3,7 km, enlaza las centrales telefónicas urbanas Adrogué y Buzarco de Buenos Aires. Además, ENTEL desea adquirir experiencia con este sistema para aplicación en proyectos futros similares.

El cable, de 7 mm de espesor, se tendió por canalizaciones ya existentes y se compone de dos fibras de sílice de índice gradual, que pueden moverse libremente en una envoltura tubular de plástico de alrededor de 1 mm de espesor. Estas fibras están trenzadas con dos alambres de acero que sirven

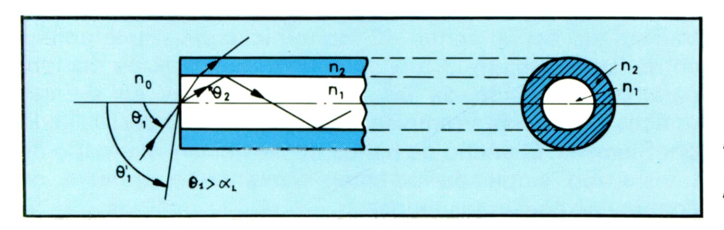


Figura 31. Forma en la que tiene lugar la propagación de la luz en una fibra óptica.

de protección contra las inflexiones, así como con elementos antitracción a base de hilos de plástico, y van provistas de una cubierta de plástico. Este tipo ha dado ya excelentes resultados en 2.000 kilómetros de fibras ópticas. El trayecto total tiene una atenuación de menos de 20 dB y consta de cuatro largos de cable empalmados mediante manguitos de cierre a presión de material termoplástico.

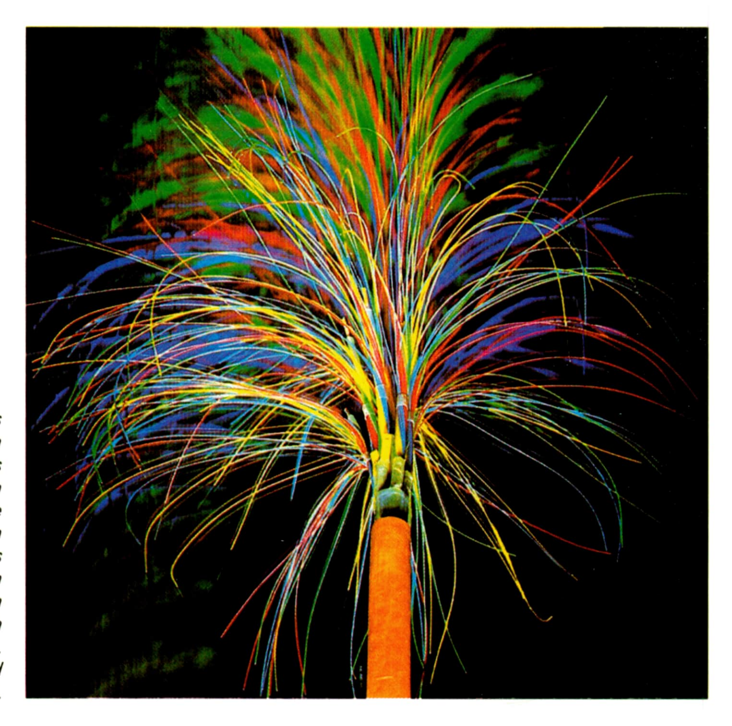


Figura 32. Las posibilidades de la fibra óptica son muy variadas permitiendo la transmisión de una gran cantidad de información. Se pueden transmitir datos, señales de radio, TV y pueden emplearse en la transmisión por vía submarina. (Cortesía: Standard Eléctrica).

Las distintas fibras ópticas fueron soldadas mediante aparatos de fácil manejo. Con el sistema PCM30 aplicado se transmiten actualmente 30 comunicaciones telefónicas entrelazadas, según el procedimiento multiplex de tiempo; para la conversión de las señales eléctricas en señales ópticas y viceversa se emplea el equipo A5/D10 desarrollado por Siemens. El ancho de banda de las fibras y el equipo de transmisión empleado permiten aumentar el número de comunicaciones transmitidas.

Sistemas experimentales

Actualmente se está registrando una fuerte tendencia al empleo de sistemas con velocidades de transmisión superiores a 140 Mbits/s. Consecuentemente, se encuentran en avanzada fase de estudio diversos sistemas para trabajar a 280,565 Mbits y 1,12 Gbits. Así, AEG-Telefunken, en su laboratorios de la RFA está trabajando con una fibra de 1,6 km de longitud y en el mismo país, el instituto Heinrich Hertz utiliza una fibra de índice gradual de 3 km de longitud. Ambos sistemas se encuentran en su etapa inicial; cuando concluyan, sus respectivas realizaciones el Instituto Heinrich Hertz dirigirá diversos ensayos de los sistemas anteriormente mencionados que están llamados a realizar transmisiones digitales de banda ancha.

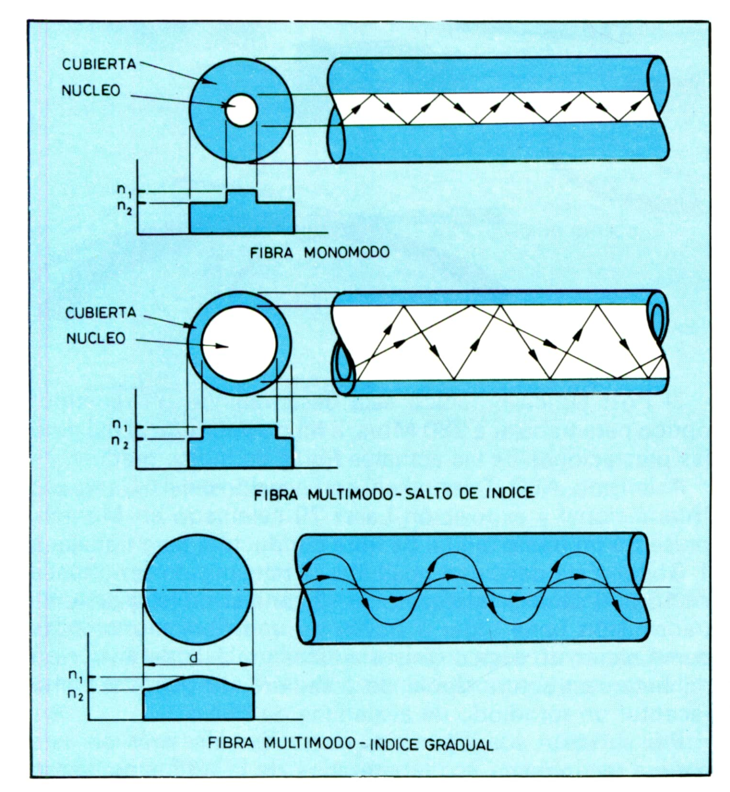


Figura 33. Esquemas de los tres tipos fundamentales de fibras ópticas actualmente en el mercado.

Por otra parte, en Italia se han realizado transmisiones experimentales a 565 Mb/s en cables experimentales tipo COS2; las emisiones se llevaron a cabo sobre una distancia máxima de 8 km, considerando los 6 km como la separación máxima entre repetidores que permite obtener un error aceptable con las fibras y dispositivos empleados.

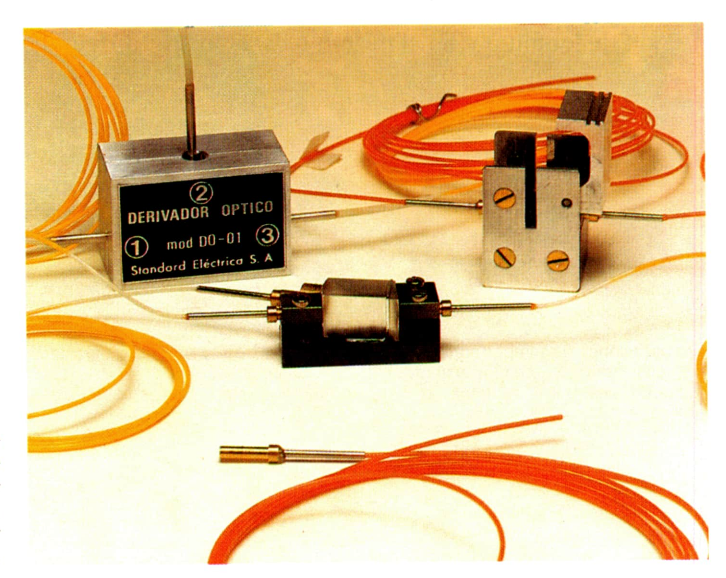


Figura 34. Diversos tipos de acopladores ópticos preparados para adaptar fibras ópticas, desarrollados por Standard Eléctrica.

El Post Office británico está desarrollando un repetidor óptico para trabajar a 280 Mb/s, a fin de optimizar al máximo las prestaciones de las actuales fibras de índice gradual.

Asimismo, AEG-Telefunken, con ocasión del 4.º Congreso Internacional y exposición Laser 79 celebrado en Munich, presentó un tramo digital de fibra conductora para trabajar a 1 Gbit/s. Esta densidad posibilita la transmisión simultánea de 15.000 canales telefónicos o 12 canales de televisión. La transmisión tiene lugar a través de una fibra monomodo; como elemento óptico emisor emplea un láser de inyección de heteroestructura doble de arseniuro de galio, y como receptor un fotodiodo de avalancha de silicio.

Por su parte, los japoneses no se quedan atrás en esta carrera tecnológica, los laboratorios de la NTT anunciaron

hace un par de años la puesta a punto de un tendido de 30 km sin repetidor, que proporcionó resultados satisfactorios al transmitir a 800 Mbit/s (equivalente a 10.000 líneas telefónicas); utiliza un diodo láser que emite en continuo a 1,3 μm sobre una fibra cuya atenuación es de 0,2 dB/km.

Por otra parte, la Post Office ha concedido a Standard Telephones and Cables Limited (STC) pedidos para el suministro y la instalación de 12 sistemas de transmisión por fibras ópticas por valor de dos millones de libras esterlinas. Dichos sistemas se pusieron o entraron en servicio y explotación en la red nacional británica de telecomunicaciones entre septiembre de 1980 y finales de 1982.

Asimismo, la comunidad urbana de Lille, en Francia, ha solicitado recientemente una demostración en situación real

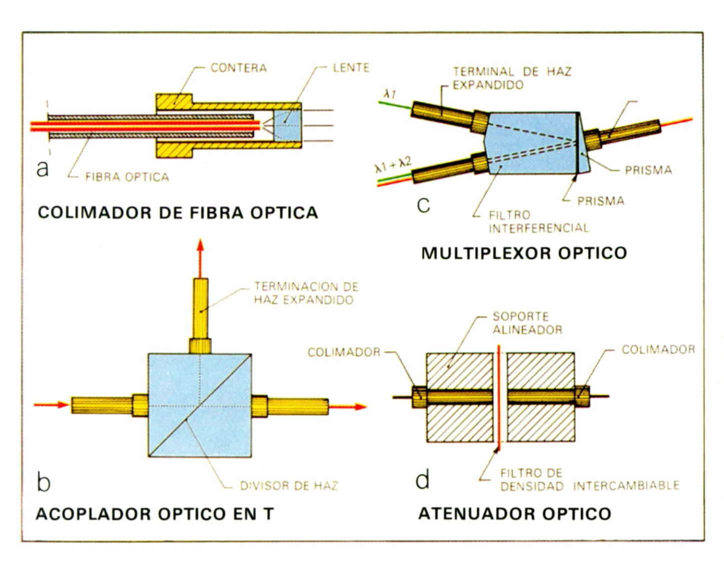


Figura 35. Las fibras ópticas pueden acoplarse entre sí, extraerse derivaciones o agruparse varios rayos en la misma conducción. Aquí se resumen cuatro posibilidades. (Cortesía: Standard Eléctrica).

de una distribución de seis programas por fibras ópticas. Esta red comprende:

— Una instalación de antenas que asegure la recepción de cinco programas de televisión, tres franceses y dos extranjeros.

— Una estación principal para el filtrado (eliminación de parásitos atmosféricos, industriales, de instalaciones médi-

cas, de automóviles, de aviones, de ecos de edificios, etc.) y para la demodulación de las señales de audio y de video, así como para la conversión de los programas de TV en color extranjeros al sistema SECAM.

— Una estación de conmutación óptica que permite la selección de programas con control remoto a partir del terminal del usuario.

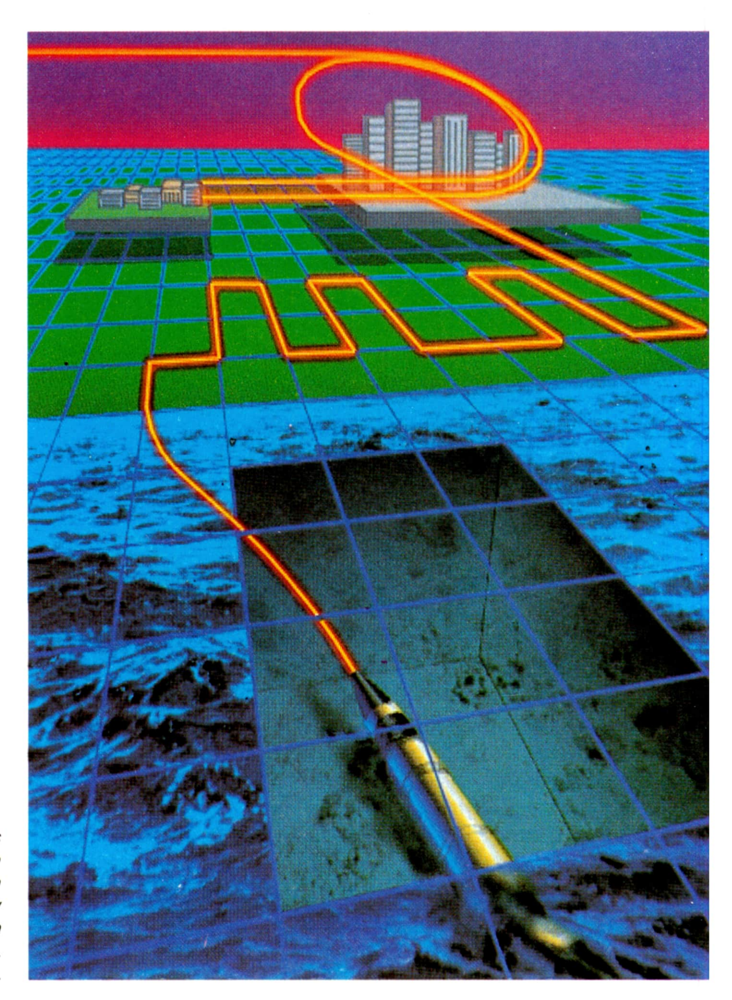


Figura 36. Los sistemas de transmisión óptica llevan la información a través de las ciudades y espacios abiertos hasta los hogares y la industria. (Cortesía: Fujitsu).

— La línea de transferencia óptica que asegure, con ayuda de las fibras de vidrio, la transmisión de los programas seleccionados y el control remoto desde el selector del usuario.

En esta instalación la transmisión se efectúa en múltiplex de portadoras ópticas de 0,7 μm para el control remoto y de 0,85 μm para la distribución del programa seleccionado.

Fibras ópticas en la industria

En general, las fibras ópticas están asociadas a grandes velocidades de transmisión y a volúmenes muy grandes de transferencia de información. Pero varias de las propiedades de las fibras ópticas las hacen idóneas para su aplicación industrial. Así, su aislamiento galvánico y su inmunidad a los parásitos electromagnéticos son factores muy importantes a la hora de pensar en su aplicación industrial.

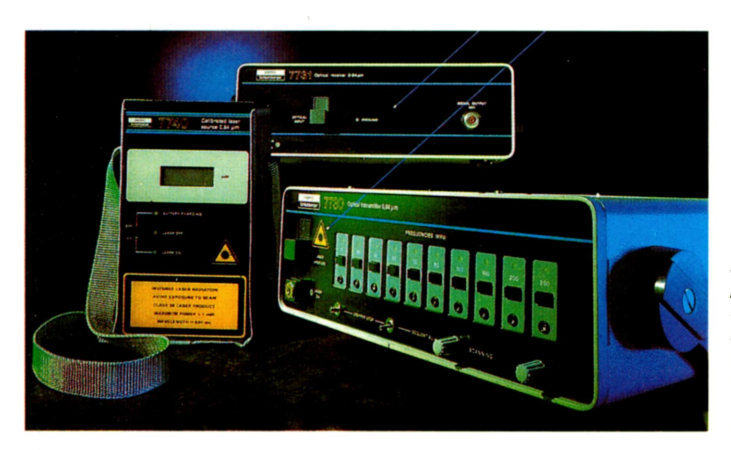


Figura 37. Instrumentos para efectuar mediciones sobre fibras ópticas monomodo y multimodo, con longitudes de onda de 0,85 a 1,3 y 1,55 μm. (Cortesía: Enertec - Schlumberger).

Pero lo que sí exige la industria es la normalización y la facilidad de intercambio de los equipos. Aunque esta exigencia aún no se ha cumplido, y parece estar lejos el día en que se cumpla debido especialmente al vuelco de toda la investigación sobre los problemas de la utilización de las fibras ópticas en las comunicaciones, muchas empresas han desarrollado kits de evaluación, así como herramientas simples que facilitan el montaje. Además dan ya montados

los emisores y receptores, con lo que se pueden empezar a aplicar a desarrollos concretos, pero nunca para producción seriada.

La utilización de las fibras ópticas tendrá efectos mucho más importantes para el género humano que el transistor o los computadores (según ha declarado el doctor Leonard Bergtein, profesor de ingeniería eléctrica en el Instituto Politécnico de Nueva York). Este hallazgo no sólo no va a revolucionar el ámbito de las comunicaciones sino que también tendrá amplísima variedad de aplicaciones en el

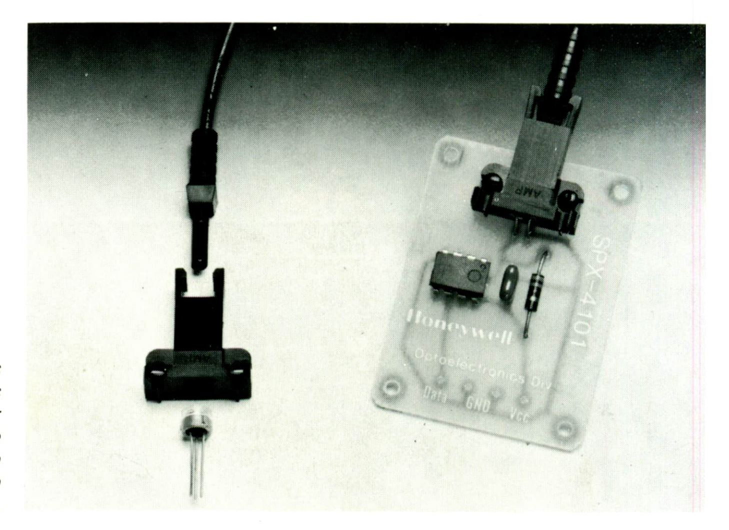


Figura 38. Los circuitos integrados son utilizados cada vez más para hacer que los equipos de transmisión y recepción por fibras ópticas sean más baratos.

diagnóstico y tratamiento médico. En éste contexto las implicaciones son asombrosas, ya que, por ejemplo, una persona puede tragar una fibra óptica que servirá para fotografiar el interior del cuerpo y pese a la existencia de equipos que pueden realizar este tipo de función, las fibras ópticas resultan mucho más flexibles que los dispositivos convencionales utilizados en este tipo de aplicación. La dificultad se plantea por el momento en dirigir la fibra desde fuera del cuerpo con el grado de precisión necesario.

La importancia de esta aplicación de las fibras ópticas se podrá apreciar en el descubrimiento precoz de las úlceras, de los tumores y de afecciones semejantes con meses y hasta

años de antelación. La fotografía en color del interior del cuerpo facilita notablemente la apreciación de una lesión o de cualquier afección de la piel que no es detectada por rayos X o por cualquier otro método, y con un diodo láser se podría utilizar una fibra óptica para enviar un haz de láser de alta intensidad con la fibra dentro del cuerpo humano; se trataría, pues, de utilizar la fibra como instrumento quirúrgico. De esta forma se podrían eliminar o extirpar tumores sin necesidad de tocar la piel exterior del cuerpo.

Sin embargo, es en el área de las telecomunicaciones donde las fibras ópticas tienen su mayor campo de aplicación.

FIBRAS OPTICAS EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES

A la red de telecomunicaciones se le viene exigiendo progresivamente en los últimos años una mejora de las características para adaptarse a las nuevas formas de información manejadas por el usuario, acompañado de un constante incremento de la utilización de estos servicios. Ello requiere el aumento del ancho de banda y del número de enlaces.

La introducción de sistemas de fibra óptica en las redes podría dar lugar a una verdadera revolución dada la alta capacidad potencial de las fibras ópticas, asociada a la gran anchura de banda de que puede disponerse, insensibilidad a la interferencia electromagnética, pequeño radio de flexión y un mayor esparcimiento entre repetidores.

Red local

En la red local, conexión del abonado con la central local, la configuración más adecuada es la red en estrella (figura 39), quedando cada abonado conectado a la central por una línea individual. Este tipo de configuración presenta ventajas respecto a otras formas como son las redes en malla, anillo o árbol, en cuanto a:

— Disponibilidad. Sólo depende de la central telefónica.
— Futuras ampliaciones.
— Equipo de abonado menos complejo y más barato.
— Insensibilidad frente a rotura de cable (del resto de los abonados).

— Anchura de banda menor, pues queda limitada a la anchura de banda utilizada por el abonado.

El resto de las redes, aparte de presentar menos ventajas en general, no son compatibles con las redes de comunicación existentes, por lo cual, la red en estrella es la más adecuada para las redes telefónicas.

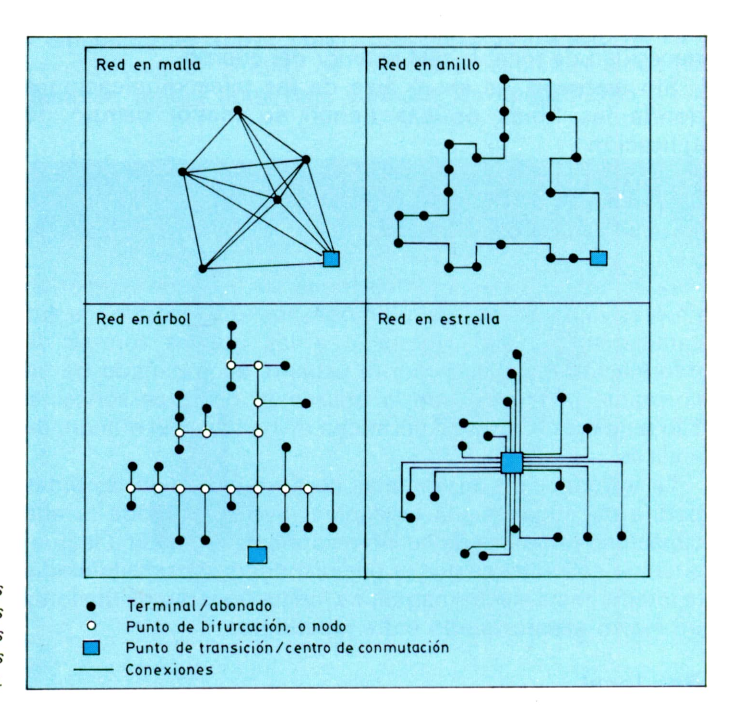


Figura 39. Varias configuraciones de redes que pueden adoptar las fibras ópticas en las telecomunicaciones.

Recientemente se están realizando, en redes locales y rurales, pruebas que utilizan fibras ópticas para distribución de programas de televisión, junto con un canal de retorno para la selección de programas. Para este tipo de servicio está resultando de gran utilidad la red en estrella. (Fig. 39).

Por ser baja la atenuación de la fibra óptica no se requieren generalmente regeneradores para las redes locales, ya que las distancias no son muy largas.

Es importante tener en cuenta que el número de empalmes aumenta la atenuación, lo cual debe ser considerado a la

hora del diseño previendo la realización de nuevos empalmes por reparaciones, cambios de sección etc.

Un esquema que puede corresponder a un sistema para una red local integrada de telecomunicaciones es el representado en la figura 40.

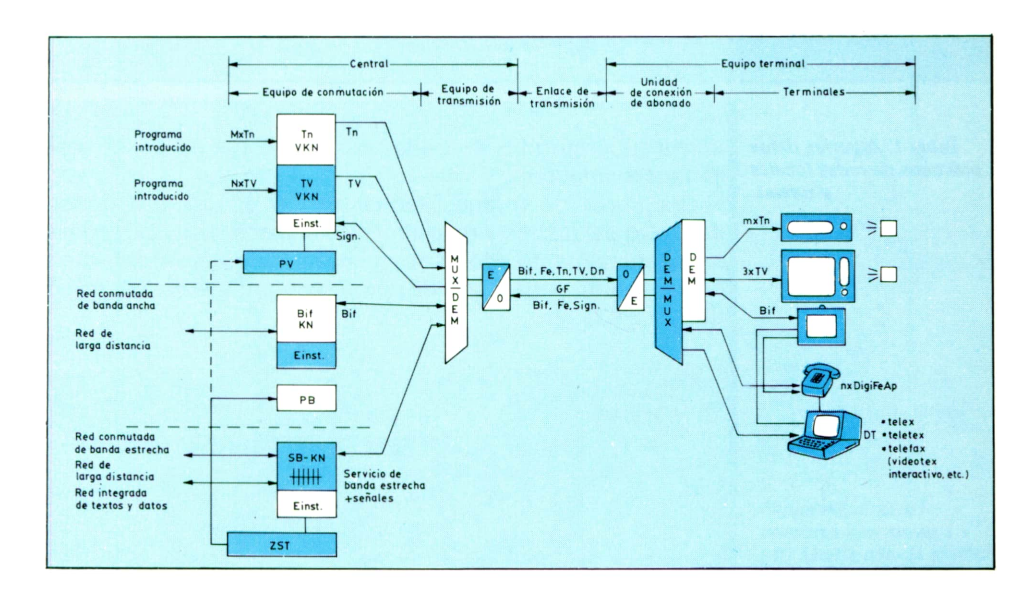


Figura 40. Posible concepción de sistemas para una red local integrada de telecomunicaciones de banda ancha. Dn = datos; Fe = telefonía, TV = televisión; Tn = sonido; Tn-VKN = matriz de conmutación para distribución de programa sonoro; TV-VKN = matriz de conmutación para distribución de programa de televisión; GF = fibra óptica; BiF = telefonía video; DT = terminal de datos; DigiFcAp = aparato telefónico digital;

Existen en algunos países como Francia, Alemania, Japón, Canadá, etc., pruebas prácticas con miras a una futura red multiservicio integrada. En la tabla 1 se especifican las principales características de algunos de estos sistemas.

Red de enlaces

La utilización de las fibras ópticas en la red de enlaces entre centrales telefónicas en una misma zona metropolitana presenta grandes ventajas ya que en ciudades no excesivamente grandes (podemos incluir en ellas prácticamente todas las españolas) es posible conectar las centrales telefónicas sin repetidores intermedios pues la separación entre éstos en la región de longitudes de onda en torno a 0,85 μm es de unos 8 a 10 km (figura 41), pudiendo

Población	Biarritz (Francia)	Yokosuka (Japón)	Elie (Canadá)	Berlín (Alem. Fed.)
Tipo de red	estrella	estrella	estrella	estrella
Anchura de Banda MHz/km	—	400	600	400
Atenuación del cable dB/km	4,5	3 (0,85 μm) 1,2 (1,3 μm)	4 (0,84 μm) (0,93 μm)	3 a 6 (0,85 μm)
Tipo de transmisión	Telefonía Videoteléfono TV FM estéreo	Telefonía TV Datos alta velocidad	Telefonía TV FM estéreo digital	Telefonía TV FM estéreo

Tabla 1. Algunos datos prácticos de redes locales y rurales.

utilizarse longitudes de onda próximas a 1,3 ó 1,5 μm para distancias mayores.

Las fibras de índice gradual de 50 y 125 μm de un diámetro del núcleo y revestimiento respectivamente, son las más generalmente adoptadas, encontrándose su atenuación comprendida entre 3 y 5 dB/km a 0,85 μm y entre 0,7 y 1,5 dB/km a 1,3 μm.

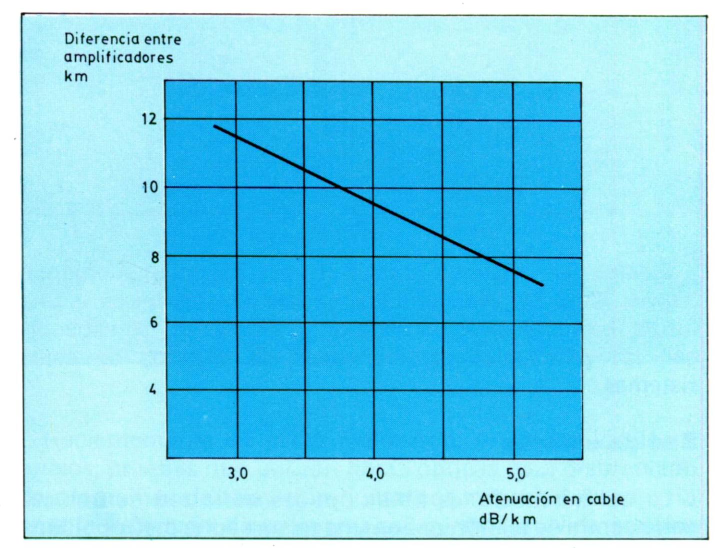


Figura 41. Distancia entre repetidores en función de la atenuación del cable de fibra, incluyendo un margen de reserva para reparaciones (tres empalmes por kilómetro y 3 dB por empeoramiento).

En España se han establecido tres rutas en fase de experimentación, dos en el área urbana de Madrid y una en Zaragoza. Para Barcelona está previsto a partir del año 1987 efectuar enlaces entre varias centrales de la ciudad para su explotación a 140 Mbit/s (figura 42).

Para la instalación de dichos cables es aprovechable la infraestructura existente de canalizaciones y cámaras de registro utilizadas por los actuales enlaces de cables de pares y coaxiales, teniendo en cuenta que debido al reducido diámetro de los cables de fibra óptica se puede aprovechar cada conducto actual para la instalación de tres subconductos que pueden albergar a otros tantos cables de fibra óptica.

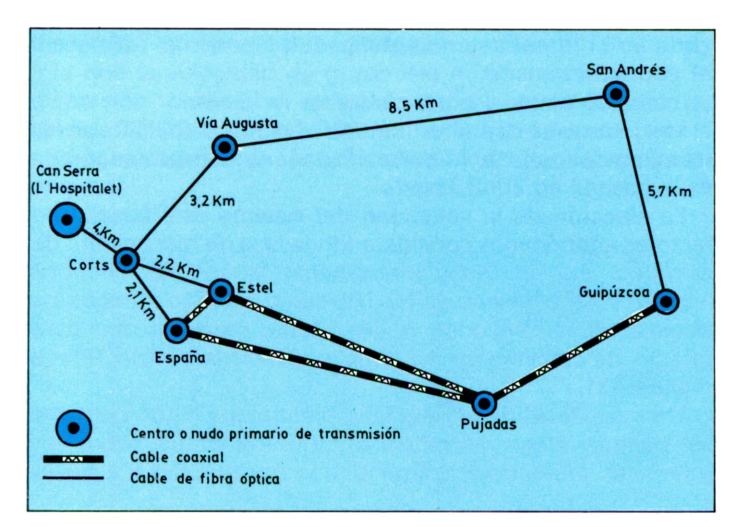


Figura 42. Enlaces previstos con sistema a 140 Mbit/s para la ciudad de Barcelona.

RED INTERURBANA

Para los enlaces interurbanos que unen centrales de conmutación secundarias o terciarias situadas en distintas aglomeraciones urbanas se necesitan, en general, sistemas de gran capacidad para poder reducir al mínimo el coste por circuito.

Los sistemas digitales por fibra óptica cumplen una serie de características que los adaptan perfectamente a esta necesidad. Estas ventajas son entre otras:

— gran anchura de banda
— pequeña atenuación
— diafonía despreciable
— inmunidad a interferencias
— aislamiento eléctrico completo

Tabla 2. Jerarquías digitales normalizadas por el CCITT.

jerarquía basada en multiplex primario a 2048 kbit/s	*jerarquía basada en multiplex primario a 1544 kbit/s*
2048 8448 34368 139264	1544 (T1) 6312 (T2) 32064 44736 (T3)

— pequeño tamaño
— coste de material potencialmente reducido

Las jerarquías digitales normalizadas por el CCITT son las relacionadas en la tabla 2. Para España la jerarquía adoptada es la basada en 2048 kbits/s.

La elección de la velocidad del sistema está basada en factores económicos considerando la tasa de crecimiento de circuitos. Así, en rutas interurbanas donde los circuitos añadidos por año sean de 10-100 serán más económicos los sistemas que funcionan a 34 Mbit/s, mientras que para índices de crecimiento mayores lo serán los de 140 Mbit/s (figura 43).

Una vez decidida la velocidad binaria que ha de utilizarse se pueden elegir automáticamente los datos sobre los interfaces preferidos recomendados por el CCITT a través

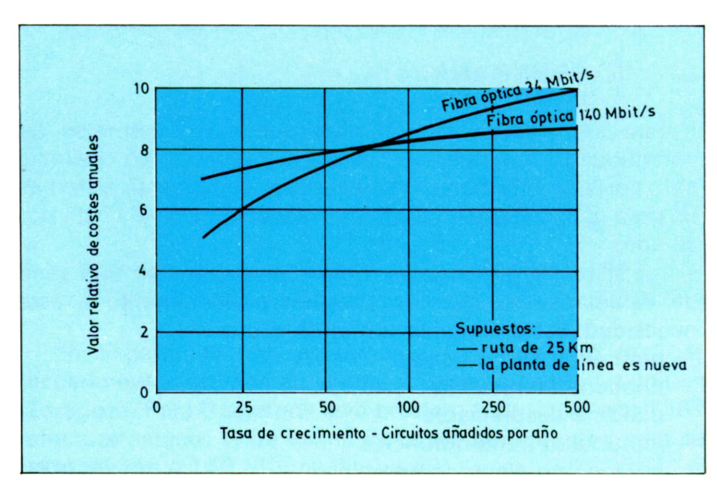


Figura 43. Comparación económica de los sistemas de fibras ópticas de 34 y 140 Mbit/s.

del diagrama de bloques de la figura 44. Siendo los códigos definidos por este Organismo: HDB-3 para sistemas a 34 Mbit/s y CMI para sistemas a 140 Mbit/s.

Las fibras multimodo de índice gradual ofrecen muchas ventajas, pero las separaciones entre repetidores que se puede lograr con ellas están limitadas para las velocidades más altas, ya que en este tipo de fibras el ensanchamiento del impulso se ve afectado.

Es posible reducir al mínimo los efectos de dicha dispersión intramodal trabajando con una longitud de onda a la que la velocidad de grupo sea mínima y en la que la dispersión debida al material sea cero, ésta coincide aproximadamente con 1.300 nm, longitud de onda para la cual la atenuación de las fibras multimodo pasa cerca de un mínimo.

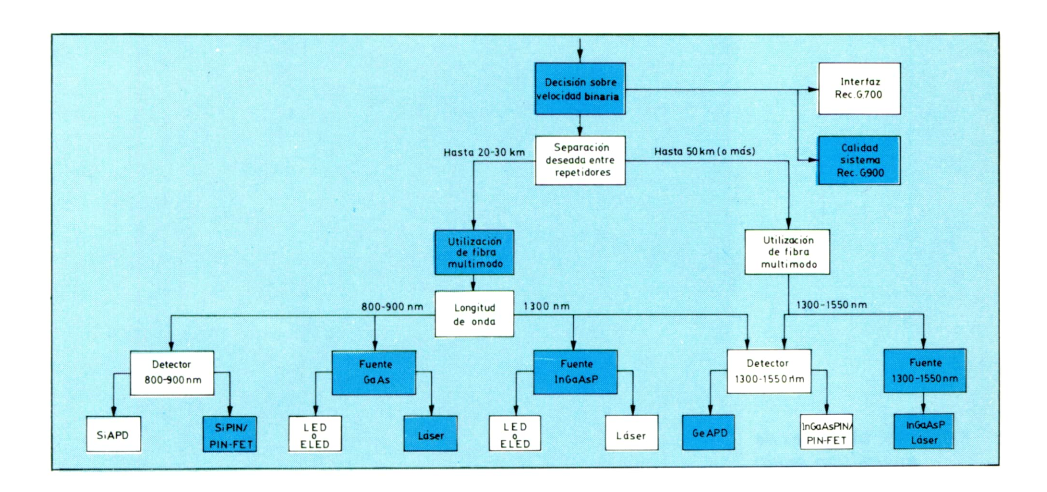


Figura 44. Algunas decisiones fundamentales en el diseño de un sistema de fibras ópticas.

Se observa en este ejemplo que la atenuación a 1.300 nm (0,55 dN/km) es del orden de cuatro veces menor que la atenuación a 850 nm.

Las separaciones en sistemas interurbanos que funcionan a 34 y 140 Mbit/s por fibras multimodo a 850 nm pueden llegar a ser de unos 13 y 8 km respectivamente, no olvidemos que los actuales sistemas por cable coaxial PD tienen una separación entre repetidores de 4 y 2 km. Estudios económicos indican que los sistemas de fibra

óptica de 140 Mbit/s tienen realmente una mejor relación rendimiento/costo que sistemas comparables de pares coaxiales.

Cuando se requieren separaciones entre repetidores superiores a 30 km, es preciso recurrir a sistemas con una menor atenuación, esto se consigue con las fibras monomodo trabajando a las longitudes de onda de 1.300 y 1.550 nm, donde las atenuaciones son del orden de 0,3 y 0,5 dB/km respectivamente.

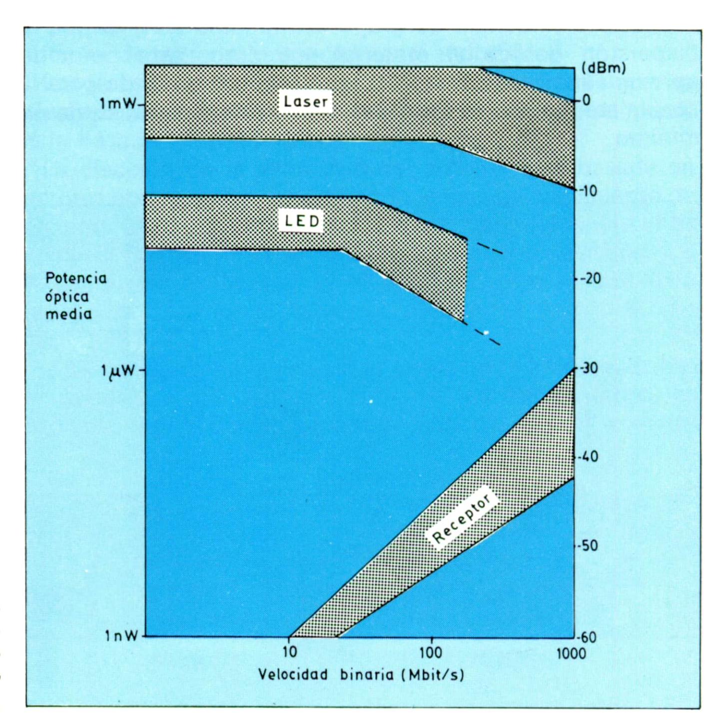


Figura 45. Márgenes de transmisión según velocidad binaria para sistemas de transmisión digital por fibras ópticas.

La dispersión modal en las fibras monomodo no impone limitaciones a los sistemas, pero sí adquiere importancia la dispersión debida al material, lo cual es reducible eligiendo un diámetro y dopado adecuado del núcleo de la fibra, pudiendo conseguir que la longitud de onda a la cual la dispersión debida al material es cero se sitúe en cualquier punto entre 1.300 y 1.550 nm.

Por lo general, dicho desplazamiento requiere también la reducción del diámetro del núcleo, lo cual puede traducirse en mayores pérdidas en los empalmes y dificultad de elaboración.

Actualmente la mayoría de los sistemas de gran capacidad utilizados en redes interurbanas han funcionado a una



Figura 46. Instalación de un cable formado por varias fibras ópticas aprovechando las torretas de un tendido de alta tensión. (Cortesía: Standard Eléctrica).

longitud de onda de unos 850 nm y han empleado láseres de GaAlAs, dada la mayor potencia de salida que proporcionan dichos dispositivos, así como su alta velocidad de modulación, su eficacia de inyección y su estrecha raya espectral. No obstante, hay una clara tendencia a sustituir los sistemas multimodo de 850 nm por sistemas multimodo de 1.300 nm por permitir éstos una mayor separación entre repetidores.

En la figura 45 se representan las zonas de funcionamiento de las fuentes ópticas LED y láser según la velocidad binaria del sistema. Las dos bandas de la parte superior representan la potencia transmitida (inyectada) desde láseres y LED, la banda inferior representa la potencia de recepción requerida para respetar una probabilidad de errores de 10^{-9}.

Tabla 3. Comportamiento típico de los dispositivos utilizados como detectores.

tipo de dispositivo	*material*	*gama de longitudes de ondas del sistema (nm)*	*eficacia cuántica (%)*	*mínima potencia en recepción a 140 Mbit/s para $P_e=10^{-9}$ dB l*
APD	Si Ge	800-900 1300-1550	≃80 ≃70	−50 −40
PIN/PIN-FET	Si InGaAs	800-900 1300-1550	≃90-95 ≃40-70	−15 −44

Hay que destacar que si bien el diodo láser proporciona una mayor potencia de inyección, tiene inconvenientes respecto al LED en lo relativo a precio, necesidad de circuito realimentado para compensar variaciones de la corriente umbral, vida media, etc.

En lo referente a detectores para los sistemas de fibra óptica, en la tabla 3 se resumen las características y calidad de funcionamiento de algunos dispositivos detectores utilizados usualmente en sistemas interurbanos.

Otros aspectos de interés en las redes interurbanas son la necesidad de realizar supervisión del funcionamiento del sistema y además poder determinar el punto en que se producen los fallos del equipo o cable, la posibilidad de

intercomunicación entre el personal técnico que trabaja en el mantenimiento, y el suministro de energía a los repetidores.

En cuanto a la supervisión, algunas de las posibilidades son dotando al sistema de:

— conductores metálicos
— fibras ópticas especializadas separadas
— posibilidad de inserción en la fibra óptica con algún sistema de modulación (portadora adicional, modulación de la señal de sincronismo etc.).

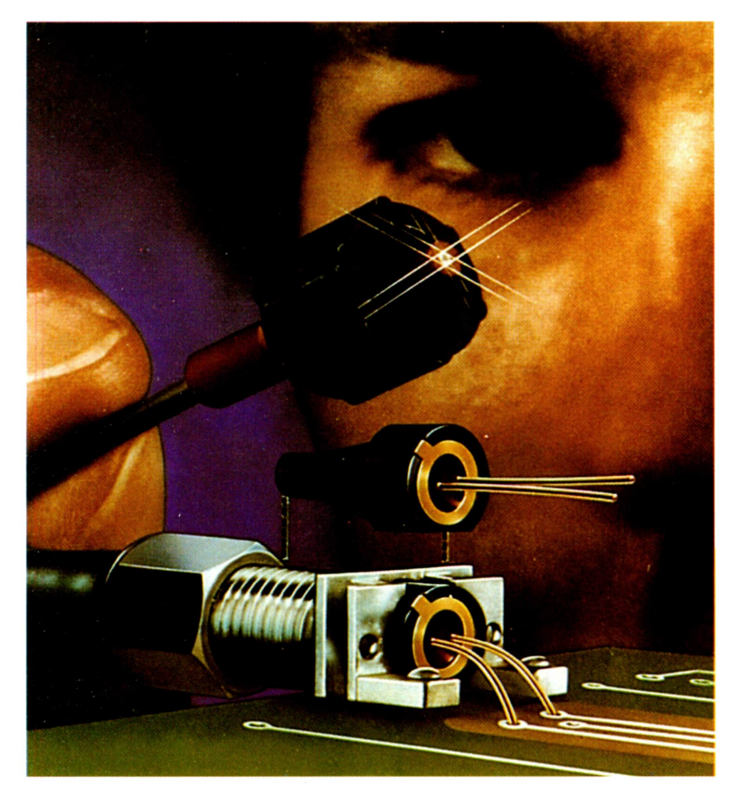


Figura 47. Los elementos que captan la luz o la emiten pueden acoplarse sobre un circuito impreso, como muestra la fotografía. (Cortesía: AMP).

Para comunicaciones del servicio técnico se precisará de cualquiera de los siguientes medios:

— conductores metálicos
— canal de servicio, lo cual requiere de codificadores y decodificadores en los puntos de acceso

— radiocomunicación (sólo para longitudes no muy largas).

Las opciones para suministro de energía a los repetidores serán:

— alimentación de servicio de energía eléctrica
— conductores metálicos (telealimentación)
— alimentación autónoma (células solares, etc.)

Hay que considerar que a pesar de parecer la solución de los conductores metálicos asociados al cable de fibras ópticas una solución a los tres planteamientos anteriores, disminuye de muchas maneras las posibles ventajas de los sistemas de fibras ópticas previstos inicialmente.

Un caso particular de la red interurbana es el cable submarino, donde las fibras ópticas, concretamente las monomodo a 1,3 y 1,5 μm, pueden posibilitar sistemas de gran capacidad con una separación entre repetidores del orden de 50 km, o bien estos sistemas sin repetidores pueden utilizarse para salvar ríos, conectar islas y enlazar estaciones marítimas tal como plataformas petrolíferas, etc.

Actualmente los cables de fibra óptica submarinos que se desarrollan en varios países tienen como objetivo antes de su utilización comercial conseguir atenuaciones inferiores a 1 dB/km a 1,3 μm en cable instalado, dotar de la resistencia mecánica suficiente para el tendido y recuperación a una profundidad máxima de 8.000 m y superar los problemas para el desarrollo de dispositivos ópticos de gran fiabilidad.

De ellos se espera, pues, conseguir las siguientes ventajas:

— Menor coste por circuito que los actuales coaxiales.
— Permitir derivar fácilmente dos líneas digitales bidireccionales en el mar, de forma que cada una vaya a destinos diferentes.
— Aumentar la capacidad de los sistemas, bien mediante el aumento de la velocidad binaria, o introduciendo multiplexión por división de longitud de onda.
— Aumentar la capacidad seleccionando el número de líneas digitales bidireccionales que ha de contener el cable, dado que pueden incorporarse varios pares de fibra a un cable.
— Menor diámetro.

El primer sistema submarino español por fibra óptica ha sido inaugurado en mayo de 1986 entre Tenerife y Gran Canaria, siendo el primero de su género en el mundo en aguas profundas. (Ver revista «Mundo Electrónico» n.º 161, pág. 109).

TENDIDO DE CABLES DE FIBRA OPTICA

Los cables ópticos, por sus características, permiten largos de fabricación de 1.000 y hasta 2.000 m, propiedad por la que se reduce el número de empalmes en una ruta con la consiguiente mejora en transmisión, disminución de costos y eliminación de «puntos débiles».

Existen varios procedimientos para el tendido de cables de fibra óptica en canalización cuya utilización depende de la capacidad del cable.

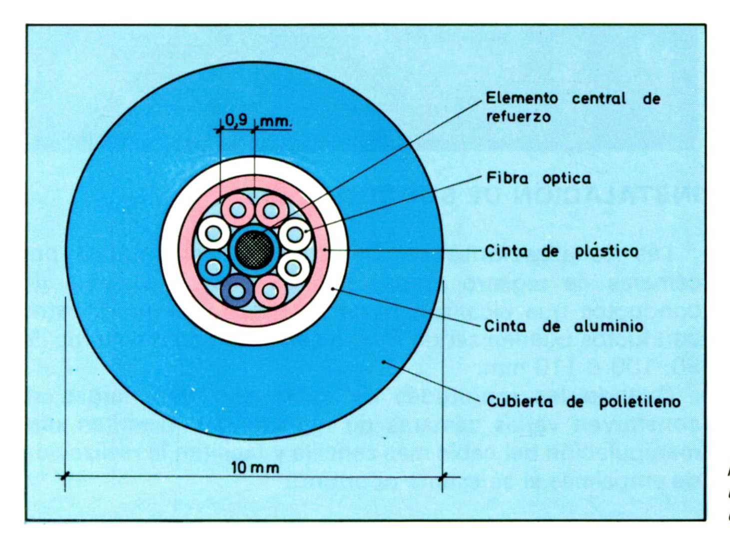


Figura 48. Estructura de un cable que incluye ocho fibras ópticas.

Para un cable del tipo de la figura 48, CTNE ha utilizado con éxito el procedimiento de tracción manual distribuida. También se realiza el tendido mediante cabrestante autónomo con control de la tensión de tiro y parada automática. Para el tendido de cables de gran capacidad se precisa una tracción distribuida con elementos mecánicos.

Dependiendo del procedimiento de instalación, se efectúa el cálculo de la tensión que va a soportar el cable durante el tendido.

El tendido se efectuará siguiendo trazados rectilíneos, a ser posible, y si es preciso curvarlo, se procura no forzar el conjunto doblándolo en exceso.



Figura 49. Imagen del interior de una cámara de registro durante el tendido del cable. (Cortesía: Telefónica).

INSTALACION DE SUBCONDUCTOS

Las canalizaciones de CTNE están constituidas por cámaras de registro unidas por un número variable de conductos que alcanzan hasta 250 m de longitud. Estos conductos pueden ser de PVC o cemento con diámetros de 90, 100 ó 110 mm.

Cuando las longitudes de cable son muy largas se construyen varias cámaras de registro que permiten una manipulación del cable más sencilla y facilitan la realización de empalmes si se estima oportuno.

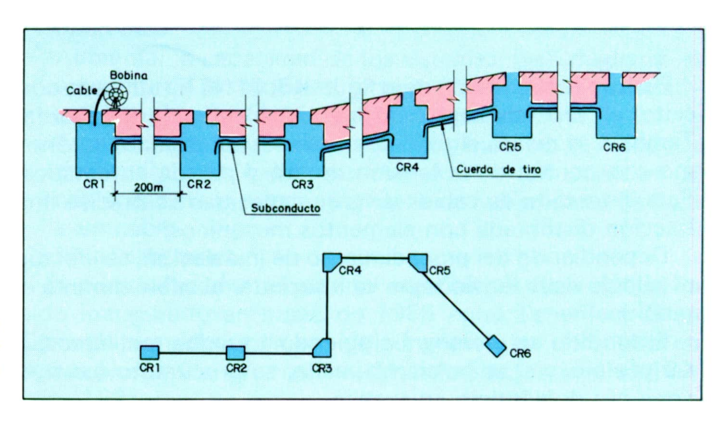


Figura 50. Sección de tendido constituido por cinco secciones de canalización.

